



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV GEODÉZIE**

INSTITUTE OF GEODESY

**TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI MOBILNÍHO  
LASEROVÉHO SKENOVÁNÍ**

TESTING OF AN ACCURACY OF MOBILE LASER SCANNING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

DIPLOMA THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Lada Hoffmannová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. MICHAL KURUC, Ph.D.**

**BRNO 2020**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3646R003 Geodézie a kartografie (N)
Pracoviště	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lada Hoffmannová
Název	Testování přesnosti mobilního laserového skenování
Vedoucí práce	Ing. Michal Kuruc, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

---

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **PODKLADY A LITERATURA**

Compact Mobile Laser Scanning System: Riegl VMX-450, 2014. Riegl Laser Measurement Systems GmbH. Uživatelský manuál.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Zpracujte mračno bodů z mobilního mapovacího systému Riegl VMX-450, vyhodnoťte souřadnice bodů kalibračního pole v areálu Výzkumného Centra AdMaS, VUT v Brně. Porovnejte souřadnice určené mobilním laserovým skenováním se souřadnicemi určenými vyrovnáním metodou nejmenších čtverců.

Pokuste se popsat faktory ovlivňující výslednou přesnost určovaných bodů a zkuste navrhnout optimalizaci procesu sběru dat touto metodou.

## **STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce popisuje sběr dat mobilním mapovacím systémem Riegl VMX-450. Mobilním mapovacím systémem bylo nasnímáno Výzkumné centrum AdMaS, kde bylo zřízeno kalibrační pole pro potřeby testování přesnosti. Stěžejní část práce se zabývá analýzou přesnosti bodového mračka. Byly porovnány souřadnice bodů kalibračního pole získané vyrovnáním metodou nejmenších čtverců se souřadnicemi získanými z bodového mračka. Další část práce se zabývá testováním přesnosti určení souřadnice při umístění terčů do různých výškových úrovní.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

laserové skenování, mobilní mapovací systém, testování přesnosti, vlíčovací bod, Riegl VMX-450

## **ABSTRACT**

Diploma thesis describes collecting of data by mobile mapping system Riegl VMX-450. Science centre AdMas was captured with mobile mapping system. For the purpose of testing the accuracy, a calibration field was constructed in AdMaS. Main part of the thesis deals with testing of the accuracy of point cloud. Calibration field's coordinates were obtained by adjustment of the geodetic network using the least squares adjustment. During the testing, the coordinates of the calibration field points determined by the adjustment of the geodetic network and the coordinates of the points determined from the point cloud were compared. Another part of the work deals with testing of the accuracy, when target's position is in different height levels.

## **KEYWORDS**

Laser scanning, mobile mapping system, testing of the accuracy, control point, Riegl VMX-450



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Bc. Lada Hoffmannová *Testování přesnosti mobilního laserového skenování*. Brno, 2020. 66 s., 19 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Michal Kuruc, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Testování přesnosti mobilního laserového skenování* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 2. 6. 2020

---

Bc. Lada Hoffmannová  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Testování přesnosti mobilního laserového skenování* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 2. 6. 2020

---

Bc. Lada Hoffmannová  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Michalovi Kurucovi, Ph.D. za cenné rady a postřehy při vypracování diplomové práce. Velké díky patří rovněž rodině a příteli, kteří nemalou mírou přispěli k hladkému průběhu doby studia.

V Brně dne 2. 6. 2020

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>2. MOBILNÍ MAPOVACÍ SYSTÉM .....</b>	<b>11</b>
<b>3. KALIBRAČNÍ POLE .....</b>	<b>15</b>
3.1. LOKALITA .....	15
3.2. TVORBA SÍTĚ BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE.....	16
3.2.1. HORIZONTÁLNÍ TERČE.....	16
3.2.2. VERTIKÁLNÍ TERČE .....	16
3.3. URČENÍ SOUŘADNIC KALIBRAČNÍHO POLE.....	17
3.3.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE .....	17
3.3.2. MĚŘENÍ.....	18
3.3.3. ZPRACOVÁNÍ GNSS MĚŘENÍ.....	18
3.3.4. VYROVNÁNÍ SÍTĚ.....	19
3.3.5. URČENÍ SOUŘADNIC BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE .....	20
<b>4. NÁJEZD .....</b>	<b>21</b>
<b>5. ZPRACOVÁNÍ DAT .....</b>	<b>23</b>
5.1. ZPRACOVÁNÍ TRAJEKTORIE V PROGRAMU POSPAC .....	24
5.2. ZPRACOVÁNÍ MRAČEN BODŮ V PROGRAMU RIPROCESS .....	25
5.2.1. OZNAČOVÁNÍ BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE.....	27
5.2.2. VARIANTY VYROVNÁNÍ .....	29
5.2.2.1. VARIANTY UROVNÁNÍ .....	29
5.2.2.2. VARIANTY POUŽITÝCH VLÍCOVACÍCH BODŮ .....	29
<b>6. ANALÝZA BODOVÝCH MRAČEN .....</b>	<b>32</b>
6.1. ANALÝZA PŘESNOSTI URČENÍ SOUŘADNIC .....	32
6.1.1. VÝSLEDKY ANALÝZY URČENÍ SOUŘADNIC .....	53
6.2. ANALÝZA URČENÍ SOUŘADNIC V RŮZNÝCH VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍCH...	54

6.3. TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI.....	55
<b>7. IDEÁLNÍ PODOBA NÁJEZDU .....</b>	<b>57</b>
<b>8. ZPRACOVÁNÍ MRAČNA BODŮ .....</b>	<b>59</b>
<b>9. ZÁVĚR .....</b>	<b>60</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>61</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>63</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>64</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>66</b>

# 1. ÚVOD

Mobilní mapovací systémy nacházejí v současné době stále větší využití. Klasické metody měření jsou často střídány modernějšími metodami geodézie jako jsou laserové skenování, ať už pozemní či na pohyblivém prostředku, nebo fotogrammetrie, která se rozvíjí především s použitím bezpilotních leteckých prostředků. Mobilní mapování je metodou spojující právě techniky mobilní laserového skenování a mobilní fotogrammetrie. Jednou z výhod této metody je vysoká rychlost sběru velkého množství dat, což odpovídá příslušným rozvinutým prostředkům pro sběr dat. Jednou z nevýhod mobilních mapovacích systémů jsou však vysoké pořizovací náklady.

Diplomová práce se zabývá analýzou přesnosti mobilního laserového skenování. Úkolem práce je zpracovat mračka bodů získané mobilním mapovacím systémem Riegl VMX-450 a na základě těchto mraček provést testování přesnosti daného mobilního mapovacího systému.

Přesnost mobilních mapovacích systémů je závislá na řadě různých vlivů, proto není snadné stanovit přesnost této metody. Jedna část práce se zabývá analýzou přesnosti bodů získaných z různých bodových mraček stejné lokality, avšak získaných různými výpočetními technikami. Klíčovým faktorem tohoto testování bude použití různých variací vlíčovacích bodů. Z mračka bodů budou získány souřadnice kontrolních bodů pro testování. Souřadnice kontrolních bodů získaných z bodového mračka budou porovnávány se souřadnicemi určenými vyrovnáním sítě metodou nejmenších čtverců. Pro potřeby testování přesnosti bylo zřízeno kalibrační pole.

V další části se práce zabývá rovněž porovnáváním dvojice souřadnic získaných z bodového mračka a vyrovnáním sítě metodou nejmenších čtverců, cílem je však testování vlivu výšky cíle vzhledem k mobilnímu mapovacímu systému.

V poslední části bude navržen optimální model vlíčovacích bodů a také popis sběru dat pro vhodné použití laserového skenování mobilního mapovacího systému Riegl VMX-450.

Diplomová práce vznikla v rámci řešení projektu Specifického výzkumu VUT v Brně FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů.

## 2. MOBILNÍ MAPOVACÍ SYSTÉM

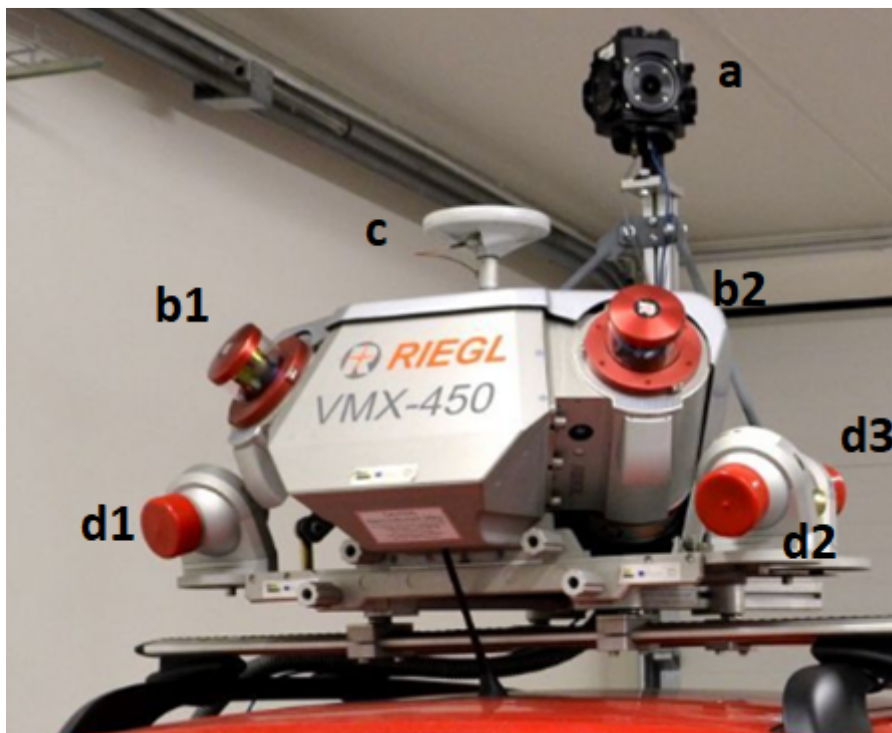
Mobilní mapovací systém je zařízení určené pro bezkontaktní podrobné měření z mobilního prostředku. [1] V tomto případě je systém využit ke sběru prostorových dat. Systém v sobě kombinuje technologie mobilního laserového skeneru společně s technologií mobilní fotogrammetrie. Zařízení se v první řadě skládá z nosiče, jímž může být například osobní automobil, vozík nebo vlak. V tomto případě se jedná o osobní automobil Škoda Yeti upravený pro potřeby mobilního mapování. Mobilní mapovací systém lze vidět na obr. 1.



*Obr. 1: Mobilní mapovací systém Riegl VMX- 450 [2]*

Do automobilu byl instalován mapovací systém VMX-450 od rakouské firmy Riegl. Systém obsahuje aparaturu GNSS, inerciální měřící jednotku, 2 laserové skenery, 4 digitální kamery pro fotogrammetrické snímky a odometr. [3] Systém je doplněn panoramatickou kamerou Ladybug 5. K propojení všech částí systému je součástí systému i řídicí jednotka, která slouží nejen k synchronizaci jednotlivých komponentů, ale i k samotnému ovládání systému. Na obr. 2 jsou zobrazeny některé důležité části systému.

- a - panoramatická kamera
- b1, b2 - 2 laserové skenery
- c - přijímač GNSS
- d1, d2, d3 - 3 digitální kamery (na obrázku není vidět 4. kamera)



*Obr. 2: Část MMS Riegl VMX-450 [4]*

### **Aparatura GNSS**

Jedná se o měřickou soupravu, která provádí měření pomocí globálního navigačního družicového systému. Aparatura se skládá z přijímače, antény a dalšího příslušenství. Během mapování jsou ukládána korekční data, pomocí nichž je později zpracována trajektorie.

### **IMU**

Jedná se o zařízení obsahující gyroskopy a akcelerometry měřící zrychlení a úhlové rychlosti ve třech ortogonálních osách. Z údajů o zrychlení je možno interpolovat polohu nosiče mezi časy snímání GNSS přijímače. Úhlové rychlosti určují orientaci nosiče. [5]

### **Odometr**

Odometr je zařízení pro měření vzdálenosti. Vzdálenost je určena na základě sledování otáček kola. Po otočení kola o známou vzdálenost je vyslán pulz, který je zaznamenán do systému. Jeho přínos do systému je nepostradatelný ve chvílích, kdy dojde k výpadku GNSS signálu. Odometr lze vidět na obrázku 1. Jedná se o zařízení, které je připevněno na kole. [6]



## Laserový skener

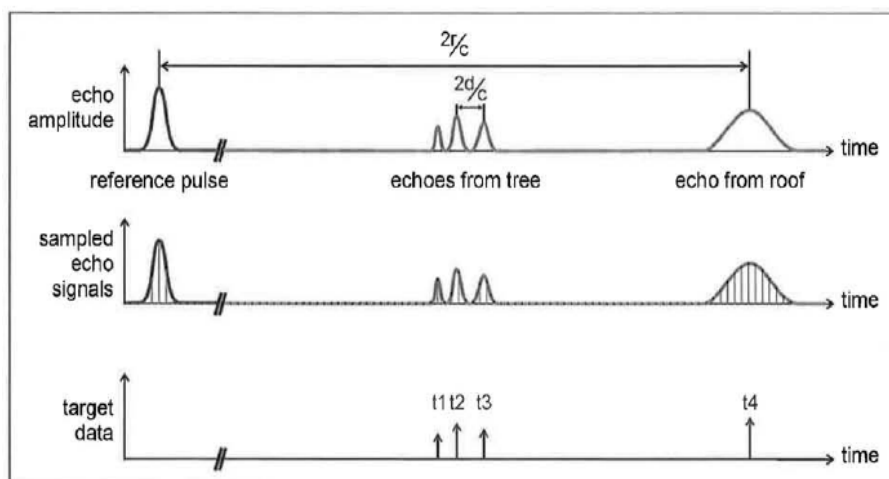
Systém VMX-450 obsahuje 2 planární laserové skenery VQ-450. Tyto jednotky jsou umístěny v zadní části nosiče a jsou symetricky natočené vůči směru pohybu nosiče. V zorném úhlu  $360^\circ$  je skenován prostor nacházející se za nosičem. Výrobce udává pro laserové skenery VQ-450 přesnost měřené délky 8 mm. [7]

Každá skenovací jednotka se skládá z laseru, optického zařízení, projekčního a skenujícího mechanismu. [5] Jedná se o oscilující zrcátko, které rozmetá laserový paprsek blízkého infračerveného záření do prostoru rychlostí 200 otáček za sekundu, tedy 400 otáček při použití 2 skenovacích jednotek. Systém zaznamenává tranzitní čas vyslaného a přijatého paprsku a z hodnoty tranzitního času a rychlosti světla je získána vzdálenost cíle od skeneru. S použitím 2 skenerů umožňuje systém skenovat rychlostí až 1,1 MHz ( $2 \times 550$  kHz), tedy 1 100 000 měření (podrobných bodů) za sekundu. [7] Rychlost skenování je závislá na vzdálenosti objektů od mapovacího systému. Před snímáním je možné vzdálenost snímání omezit na určitou hodnotu a tak zaručit danou rychlost skenování.

Souřadnice podrobných bodů jsou získány prostorovou polární metodou. Tyto souřadnice jsou k aktuální pozici mapovacího systému v dané chvíli. Z tohoto důvodu je nutné znát velmi přesně trajektorii systému, což se daří současným užitím aparatury GNSS, inerciální měřící jednotky a odometru.

Laserový skener VQ-450 umožňuje zaznamenávání vícenásobných odrazů. V jednom směru je možné zasáhnout více cílů. Vyslaný paprsek se vrací postupně v několika odrazech, získává se několik vzdáleností a z nich několik poloh podrobných bodů. Všechny výsledky jsou poté uloženy v data streamu. Pro lepší představu je vícenásobný odraz zobrazen na obr. 3. [8]

Výstupem laserového skenování jsou data o trajektorii v určitém časovém intervalu a prostorová data uložená vzhledem k jednotlivým pozicím laserového skeneru.



Obr. 3: Zobrazení vícenásobného odrazu [8]

### Digitální kamera

Digitální kamery slouží ke snímání okolního prostoru. Jejich natočení je libovolné, zpravidla bývají 2 kamery natočeny po směru a 2 proti směru nájezdu. Snímky z kamer jsou zaznamenávány na základě barevného CCD snímače o rozlišení 5 megapixelů. [3] Snímky jsou snímány a ukládány v pravidelném časovém nebo vzdálenostním intervalu. Snímky z kamer mohou být využity samostatně pro vyhodnocení oblasti pomocí mobilní fotogrammetrie, zároveň jsou tyto snímky použity k obarvení bodového mračka, které je získáno pomocí laserového skeneru.

### Panoramatická kamera

Systém VMX-450 je navíc doplněn o sférickou kameru Ladybug 5, která standardně není součástí systému Riegl VMX-450. Snímky je možné využít k obarvení bodového mračka získaného pomocí laserového skeneru. Sférická kamera se skládá z 6 kamer. Každá kamera snímá pomocí CCD snímače o rozlišení 5 megapixelů. [9] Jedna z kamer směřuje svisle vzhůru. První z ostatních pěti kamer směřuje po směru jízdy vozidla a další 4 kamery rovnoměrně pokrývají zbytek kruhu tak, aby byly vytvořeny panoramatické 360° snímky.

### Řídící jednotka

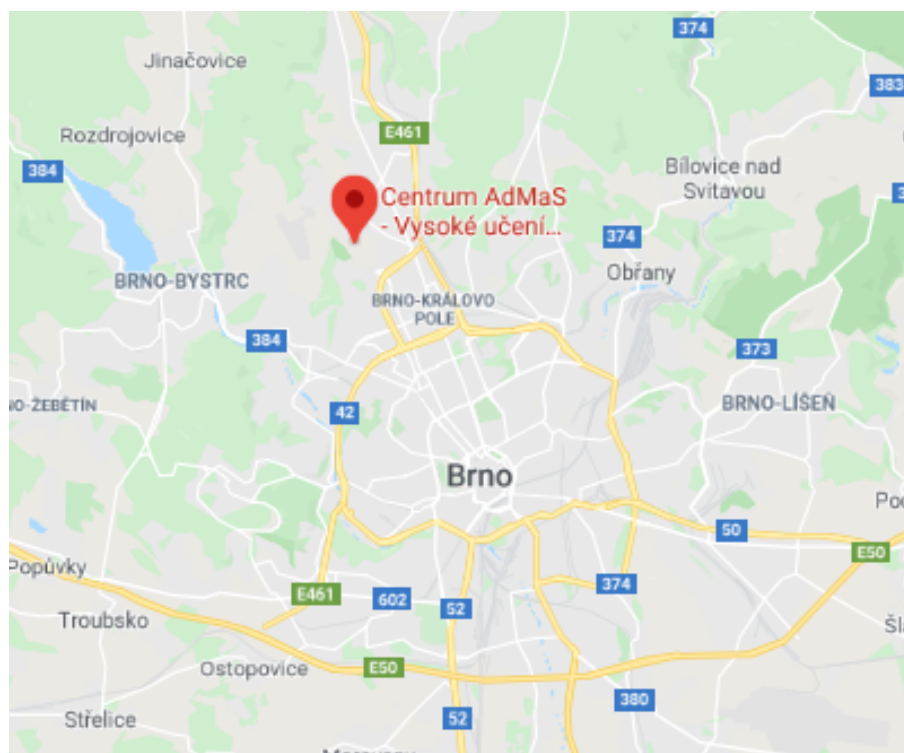
Jedná se o počítač sloužící k ovládání a synchronizaci všech částí systému. Během nájezdu je s jeho pomocí ovládáno použití skenerů a kamer přímo z auta. Sběr dat je ovládán pomocí software RiACQUIRE. [7]

### 3. KALIBRAČNÍ POLE

Pro potřeby testování bylo vytvořeno nové kalibrační pole. Jedná se o síť bodů, jejichž souřadnice byly určeny vyrovnáním metodou nejmenších čtverců a jsou používány jako vlíčovací a kontrolní body při testování.

#### 3.1. LOKALITA

Pro účely testování bodového mračka bylo zřízeno kalibrační pole. Kalibrační pole bylo zřízeno v areálu Výzkumného centra AdMaS, které je součástí Fakulty stavební VUT v Brně. Výzkumné centrum se nachází na okraji města Brna, konkrétně v městské části Brno-Medlánky. Polohu centra AdMaS vidíme na obr. 4.



*Obr. 4: Poloha AdMaS [Zdroj podkladu: maps.google.com]*

Jedná se o uzavřený areál se čtyřmi budovami a asfaltovými místními komunikacemi. Vzhledem k uzavřenosti areálu nebyl problém s umístováním terčů podrobných bodů, stejně jako nebyl problém při jejich geodetickém zaměření. Bezproblémový byl rovněž nájezd mobilním mapovacím systémem dle našich požadavků. Počáteční inicializace systému byla provedena mimo areálu v blízkém okolí. Podoba areálu je zobrazena na obr. 5.



*Obr. 5: Areál AdMaS [10]*

## **3.2. TVORBA SÍTĚ BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE**

Kalibrační pole obsahuje 214 kalibračních bodů. Body jsou rozmístěny rovnoměrně po celé ploše lokality. Pro lepší možnosti testování byly zvoleny 2 typy bodů, které jsou označovány jako Horizontální a Vertikální dle způsobu stabilizace. Schéma rozmístění horizontálních a vertikálních bodů je přílohou č.1 této práce.

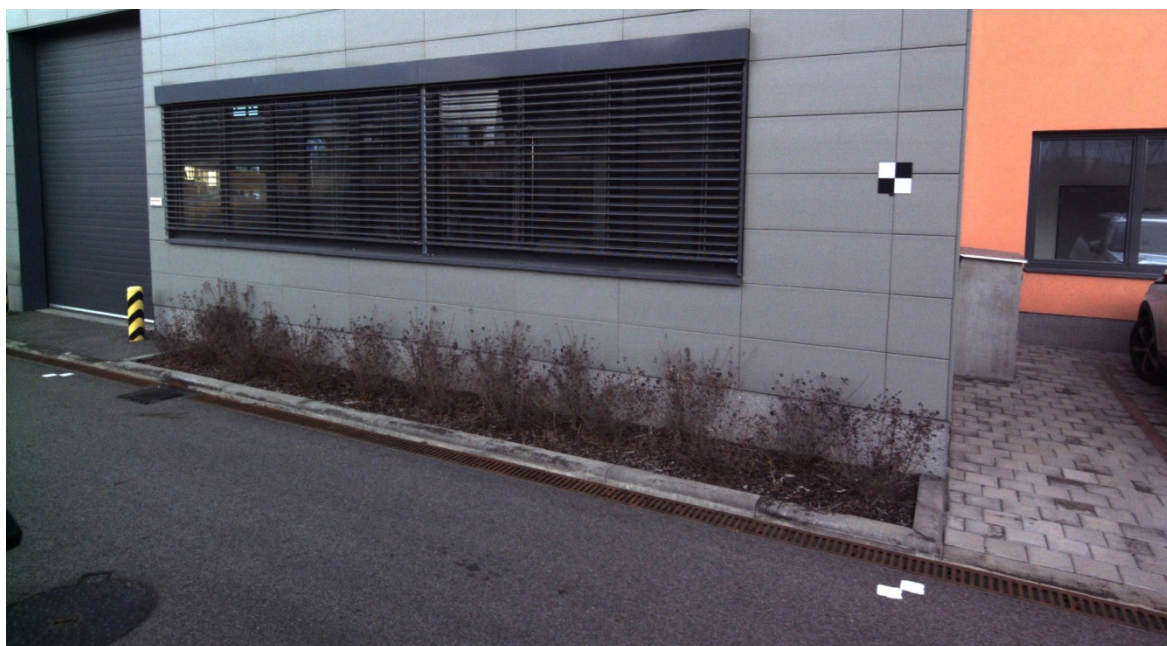
### **3.2.1. HORIZONTÁLNÍ TERČE**

Jedná se o terče ve vodorovné poloze. Terče vznikly nástřikem bílé barvy na asfalt pomocí vytvořené šablony. Ve středu každého terče je zatlučen měřický hřeb, aby bylo možné terče na bodech v případě poničení obnovit. Terč je tvořen šachovnicí o 2 bílých a 2 černých polích. Každé pole má rozměr  $10 \times 10$  cm, takže po složení šachovnice získáváme terč o velikosti  $20 \times 20$  cm. Terče se nachází přímo na vozovce, na které se provádí nájezd. Celkem je takto stabilizováno 119 terčů. Podobu horizontálního terče vidíme na obr. 6.

### **3.2.2. VERTIKÁLNÍ TERČE**

Takto označované terče se nachází ve svislé poloze. Terč má opět podobu šachovnice  $2 \times 2$  o rozměru  $20 \times 20$  cm. Terče byly speciálně vytvořené pro účely testování. Podkladem terče je tenký plech natřený matnou černou barvou. Světlé čtverce jsou tvořeny nalepovací

reflexní fólii, se kterou se běžně setkáváme na dopravních značkách. Terče byly umístovány na budovách ve dvou výškových úrovních, aby bylo možné zkoumat přesnost určení souřadnic bodů v závislosti na výšce. Dále jsou vertikální terče umístěny na lampách, betonových sloupech a dalších vhodných místech nacházejících se v areálu výzkumného centra. Podobu vertikálního terče vidíme na obr. 6.



*Obr. 6: Horizontální a vertikální terč [2]*

### **3.3. URČENÍ SOUŘADNIC KALIBRAČNÍHO POLE**

Kalibrační pole bylo zaměřeno a následně byly určeny souřadnice vyrovnáním geodetické sítě metodou nejmenších čtverců.

#### **3.3.1. POUŽITÉ PŘÍSTROJE**

K zaměření a určení souřadnic bodů kalibračního pole byly použity přístroje Trimble. Pro technologii GNSS byly použity přijímače Trimble R8s (obr. 7) a Trimble R4-3. K terestrickému zaměření byla využita totální stanice Trimble S8 HP (obr. 8). Výrobce uváděná směrodatná odchylka střední chyba pro měření délek nabývá hodnot  $0,8 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$  při měření na odrazný hranol a  $3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$  při měření v bezhranolovém módu. Střední chyba směru ve dvou polohách dalekohledu je  $6''$ . Dále bylo použito další standardní vybavení jako jsou stativy a odrazné hranoly. U hranolů byla před měřením ověřena součtová konstanta na pilířové základně.





*Obr. 7: Trimble R8s [11]*



*Obr.8: Trimble S8 HP [12]*

### **3.3.2. MĚŘENÍ**

V první fázi byly zaměřeny 4 body měřické sítě statickou metodou GNSS. Jedná se o body s čísly 4001, 4002, 4003 a 4005, které jsou stabilizované měřickými hřeby v asfaltu. Měření proběhlo simultánní observací přijímačů na všech bodech po dobu 75 minut s nastaveným elevačním úhlem na hodnotu  $5^\circ$ . Po stabilizaci dalších bodů měřické sítě a instalaci terčů podrobných bodů proběhlo terestrické zaměření. Terestrické zaměření měřické sítě a podrobných bodů probíhalo současně. Každý podrobný bod byl zaměřen ze 2 různých stanovisek. Zaměření GNSS proběhlo 11. března 2019. Terestrické měření probíhalo v červnu 2019 a trvalo přibližně 4 dny.

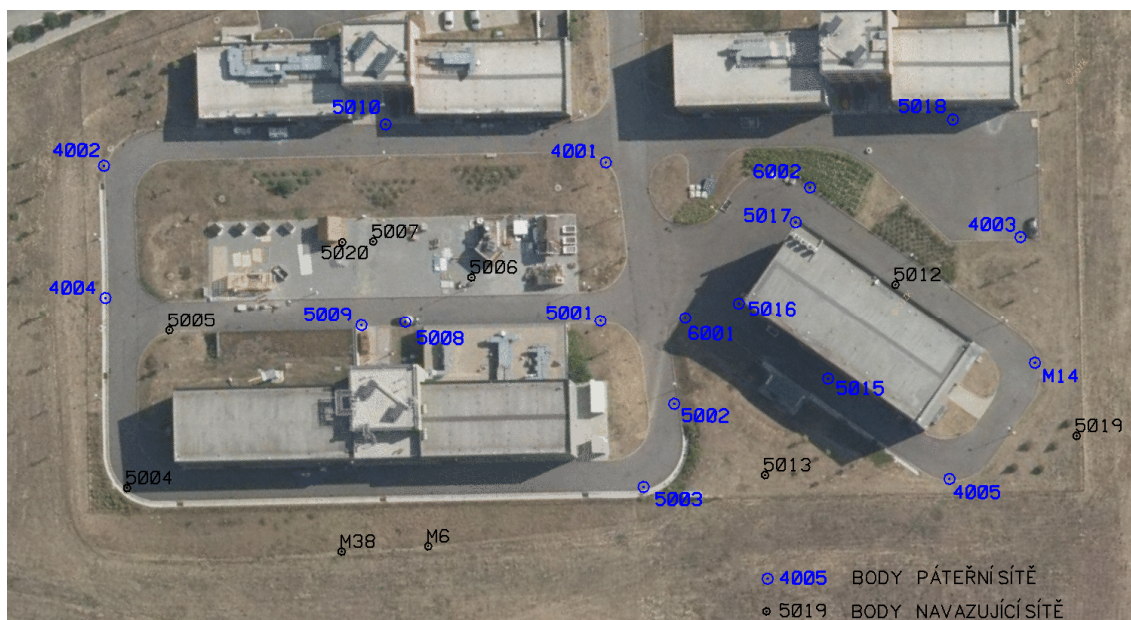
### **3.3.3. ZPRACOVÁNÍ GNSS MĚŘENÍ**

Nejprve byly zpracovány GNSS vektory v softwaru Trimble Business Center. Zpracování proběhlo připojením na permanentní stanici TUBO, která je zařazena do evropské sítě permanentních stanic EUREF a zároveň je součástí státní sítě permanentních GNSS stanic CZEPOS. Permanentní stanice TUBO se nachází na střeše budovy Fakulty stavební, VUT v Brně. Výsledkem tohoto zpracování jsou přibližné souřadnice bodů 4001, 4002, 4003 a 4005 v souřadnicovém systému ETRS89, v realizaci ETRF2000. Souřadnicový systém ETRS89 je geocentrický. Abychom mohli kombinovat data z terestrického měření a data získané metodou GNSS byla nutná transformace přibližných souřadnic v systému ETRS89 do lokální topocentrické soustavy NEU. Topocentrem lokální soustavy byl zvolen bod 4001. Svislá osa je osa ve směru normály k elipsoidu, což umožní kombinaci terestrických a GNSS dat. Vzhledem k velikosti lokality a samotné velikosti tížnicové odchylky byla

korekce terestrických měření o vliv tížnicové odchylky zanedbána. Tížnicová odchylka dosahuje v lokalitě Brno hodnoty přibližně 10".

### 3.3.4. VYROVNÁNÍ SÍTĚ

Následovalo vyrovnaní sítě. Pro získání finálních souřadnic měřické sítě bylo provedeno vyrovnaní v programu DLL MNČ. V programu bylo možné definovat model vyrovnaní, zahrnout chyby centrace a přesnost výchozí sítě. Sít' měřických bodů byla rozdělena do 2 částí na sít' páteřní a sít' navazující. Mezi body páteřní sítě byly délky i směry měřeny obousměrně. U bodů sítě navazujících bodů byly tyto veličiny měřeny pouze v 1 směru. Přehled bodů měřické sítě je zobrazen na obr. 9.



Obr. 9: Rozdělení bodů měřické sítě [Zdroj podkladu: cuzk.cz]

Nejprve byla vyrovnaná páteřní sít'. Jedná se o sít' tvořenou stanovisky a byla zaměřena trojpodstavcovou metodou. Sít' byl vyrovnaná jako volná sít' zprostředkujícím vyrovnaním s podmínkami s užitím metody nejmenších čtverců. Při tomto vyrovnaní proběhla detekce a vyloučení odlehlých měření. Přesnost měření byla stanovena dle přesnosti přístroje udávané výrobcem (popsáno v kapitole 3.3.1.). Střední chyba centrace byla uvažována hodnotou 1 mm. Střední chyba určení výšky cíle byla rovněž uvažována hodnotou 1 mm. Po uvážení střední chyby centrace byla vypočtena střední chyba délek pro vyrovnaní 1 mm + 1 ppm. Výsledky tohoto vyrovnaní vidíme v tab. 1.

Po prvotním vyrovnaní páteřní sítě následovalo vyrovnaní celé měřické sítě. Sít' byla vyrovnávána jako vázaná. Body páteřní sítě byly dány jako pevné, body sítě navazujících bodů byly určovány. Bylo použito zprostředkující vyrovnaní užitím metody nejmenších čtverců v programu DLL MNČ. Výsledné souřadnice bodů měřické sítě byly určeny v topocentrické soustavě.

### 3.3.5. URČENÍ SOUŘADNIC BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE

Po určení souřadnic bodů měřické sítě byly vypočteny souřadnice podrobných bodů kalibračního pole. V rámci vyrovnaní sítě souřadnic měřické sítě byly přidány mezi určované body rovněž body kalibračního pole. To bylo učiněno z důvodu zohlednění všech měřených veličin. Sít' byla vyrovnána jako vázaná. Body měřické sítě byly definovány jako pevné body, podrobné body kalibračního pole byly dány jako volné. V tab. 1 vidíme výsledky vyrovnaní včetně podrobných bodů.

*Tab.1: Výsledky vyrovnaní sítě metodou nejmenších čtverců*

	$m_s$ [mm]	$m_w$ [g]	$m_{x,y}$ [mm]	$m_H$ [mm]
<b>Páteřní sít'</b>	0,83	0,0008	0,80	0,53
<b>Celá sít' včetně podrobných bodů</b>	1,89	0,0015	1,66	1,42

Souřadnice bodů kalibračního pole byly získány v topocentrické soustavě NEU. Topocentrické souřadnice budou později využity pro porovnání souřadnic při testování přesnosti. Body byly z topocentrické soustavy transformovány do systému ETRS89, realizace ETRS 2000, který byl vyžadován pro zpracování v programu RiPROCESS. Souřadnice bodů v obou souřadných systémech jsou přílohou č. 2.1.



## 4. NÁJEZD

Nájezdem je myšlen sběr dat technologií mobilního mapovacího systému. Nájezd, který je v diplomové práci zpracováván proběhl 22. ledna 2020. Samotnému sběru dat předchází přípravy. Jako první se demontují ochranné kryty kamer a laserových skenerů. Přitom se také čistí jednotlivé kamery, aby fotky nebyly poškozené nečistotami na objektivu při nájezdu. Následuje spuštění řídicí jednotky a snímačů. V tuto chvíli je také vhodné zkontrolovat přítomnost disků pro zápis dat. Dále následuje inicializace systému. Inicializace systému zahrnuje inicializaci jednotky GNSS, IMU jednotky a odometru. Při zpracováváním nájezdu z 22. 1. 2020 nebyl kvůli technickým závadám odometr použit. Lokalita poskytovala vhodné prostředí pro přijímání signálu GNSS, takže nedocházelo k výpadkům GNSS jednotky a absence odometru nebyla problém. Nejprve se provádí statická inicializace. Auto stojí po dobu 5 minut v klidu a přijímá data z družic. Po statické inicializaci přichází na řadu inicializace dynamická. Nosič jede pro tuto inicializaci vyšší rychlostí. Z tohoto důvodu proběhla dynamická inicializace mimo areál Výzkumného centra AdMaS. Pokud dynamická inicializace proběhla úspěšně, jednotky GNSS a IMU jsou inicializované a je možné začít s nájezdem.

Celý systém, kromě kamery Ladybug5, je po celou dobu příprav i samotného nájezdu ovládán pomocí řídicí jednotky auta. Řídicí jednotka obsahuje software RiACQUIRE, kterým se současně ovládá zachycení snímků digitálními kamerami a snímání laserovým skenerem. Náhled ovládání pomocí softwaru RiACQUIRE vidíme na obr. 10.



*Obr. 10: Náhled ovládání MMS Riegl VMX-450*

Z hlediska ovládání je nejprve založen projekt. RiACQUIRE vytvoří skupinu souborů a složek, do kterých jsou data strukturovaně ukládána. Struktura souborů zůstává stejná i po stažení dat po nájezdu a následném zpracování v dalších programech. Po založení projektu je v programu spuštěna i inicializace, která již byla zmíněna. Po inicializaci následuje nastavení parametrů nájezdu a samotný nájezd.

Při snímání dat byly nastaveny následující parametry:

- Full-circle snímání skeneru - laserový paprsek je rozmetán v celém kruhu, úhel snímání skeneru nebyl nijak vymezen
- Dosah skeneru - laserový skener snímá objekty pouze do vzdálenosti 30 m
- Záznam fotek - záleží především na požadovaném překrytu, při nájezdu nastaven interval snímání po 1,5 m

Pro volbu rychlosti nájezdu byl proveden výpočet. Při navržené rychlosti 30 km/h jsou jednotlivé linie skeneru od sebe vzdáleny přibližně 4 cm. Na každém čtverci  $10 \times 10$  cm budou zachyceny minimálně 2 linie snímaných bodů, což byla výchozí podmínka pro návrh nájezdové rychlosti. Minimální počet 2 linií v každém odrazném čtverci je důležitý pro další zpracování kalibračních bodů v softwaru RiPROCESS.

Z předchozích dat byl zaznamenán posun mračna ve směru pohybu vozidla. Pro vyloučení nežádoucího posunu byla lokalita najížděna ve směru tam a zpět. Pro snadnější zpracování jsou data rozdělena do 4 částí (recordů), aby nedocházelo k vícenásobnému snímání některé části lokality. Recordy 1 a 3 byly snímány jako první, můžeme je označit jako směr tam. Recordy 2 a 4 jsou snímány ve směru opačném, tedy zpět. Na obr. 11 vidíme znázorněnou trajektorii nájezdu.

Po sběru dat je nutné znovu provést inicializaci. Opět se nejprve provede dynamická a statická inicializace stejným způsobem, jako tomu bylo před nájezdem. Po inicializaci následuje stažení dat z kamery Ladybug5 a vyjmutí disků s daty pro další zpracování. Data z kamery Ladybug5 jsou přemístěna do složky ve struktuře projektu, tak dojde k propojení dat mezi daty ze systému VMX-450 a snímky z kamery Ladybug5.



*Obr. 11: Trajektorie nájezdu [Zdroj podkladu: cuzk.cz]*

## 5. ZPRACOVÁNÍ DAT

Data jsou stažena v celé hierarchii složek, která byla vytvořena při sběru dat. Struktura složek je vidět na obr. 12.

01_PLANNING	26.02.2020 12:18	Složka souborů	
02_INS-GPS_RAW	26.02.2020 12:18	Složka souborů	
03_RIEGL_RAW	26.02.2020 12:19	Složka souborů	
04_CAM_RAW	26.02.2020 12:19	Složka souborů	
05_INS-GPS_PROC	26.02.2020 12:24	Složka souborů	
06_RIEGL_PROC	26.02.2020 12:27	Složka souborů	
07_PROTOCOL	01.03.2020 21:20	Složka souborů	
08_RECEIVED	26.02.2020 12:27	Složka souborů	
20200122_adm2.bak	01.03.2020 11:58	Soubor BAK	3 726 kB
20200122_adm2.rhk	22.01.2020 15:00	Soubor RHK	1 142 kB
20200122_adm2.rpc	22.01.2020 14:49	Soubor RPC	10 kB
20200122_adm2.rpl	01.03.2020 23:41	Soubor RPL	254 kB
20200122_adm2.rpp	01.03.2020 21:20	Soubor RPP	3 744 kB
20200122_adm2.uid	01.03.2020 23:29	Soubor UID	1 kB

*Obr. 12: Struktura složek projektu*

## 5.1. ZPRACOVÁNÍ TRAJEKTORIE V PROGRAMU POSPAC

Po stažení dat následuje jejich zpracování. Jako první je třeba zpracovat přesnou trajektorii vozidla. Přesnou trajektorii vozidla je třeba znát kvůli podrobným měřením, jenž jsou vztažena k aktuální poloze skeneru ve chvíli snímání. Z mobilního mapovacího systému je známa surová trajektorie. Surová trajektorie je pouze přibližná trajektorie s přesností přibližně 1 m. Z mobilního mapovacího systému jsou získána korekční data, na základě kterých je zpracována přesná trajektorie. Postup prací v programu POSPac:

- Import dat pro určení trajektorie
- Stažení a import přesných efemerid
- Řešení kinematickou metodou
- Export zpřesněné trajektorie

Při importu jsou do programu POSPac nahrána data z jednotek GNSS a IMU. Při importu se rovněž zobrazí přibližná trajektorie získaná již při nájezdu metodou "Single point positioning" (absolutní určení polohy). Přesné efemeridy IGS byly staženy přímo v prostředí POSPACu.

Zpřesněná trajektorie je určena novým výpočtem. Trajektorie je získána řešením kinematickou metodou s následným zpracováním. V rámci řešení kinematickou metodou s následným zpracováním bylo měření připojeno na permanentní stanici sítě CZEPOS, konkrétně na permanentní stanici TUBO. Permanentní stanice TUBO se nachází na střešní terase Fakulty stavební VUT v Brně vzdálené od areálu AdMaS 3,5 km. Výsledkem je nová zpřesněná trajektorie.

Trajektorie je pro další zpracování exportována ve formátu Customize smoothed BET (sbet.out). Společně se zpřesněnou trajektorií jsou exportovány podpůrné soubory smrsmg.out a piinkaruu.out. Podpůrné soubory obsahují informace o charakteristikách přesnosti trajektorie. Tyto soubory jsou přesunuty v hierarchii složek pro zpracování v programu RiPROCESS.

## **5.2. ZPRACOVÁNÍ MRAČEN BODŮ V PROGRAMU RiPROCESS**

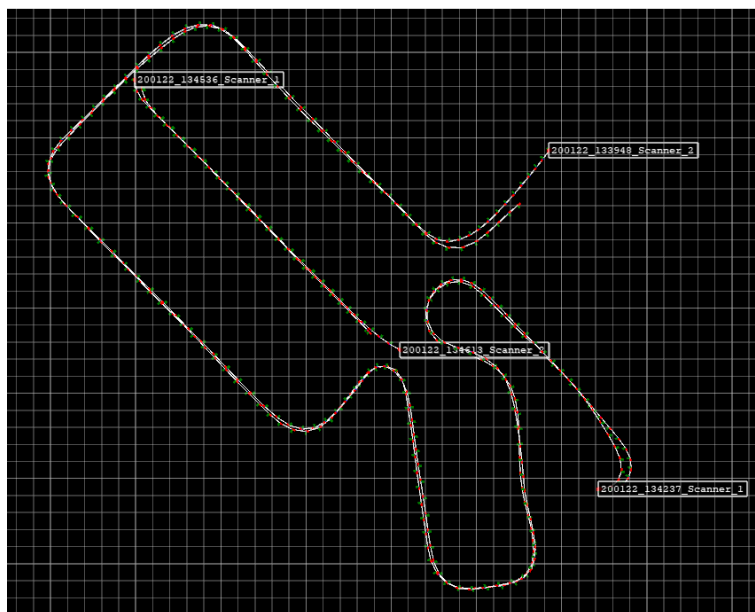
Zpracování bodových mračen probíhá v programu RiPROCESS od firmy Riegl. V souboru složek otevřeme projekt, který je ve složkách založen již během nájezdu. Založený projekt přímo obsahuje veškeré odkazy na pořízená data (laserová data i snímky). Při prvním otevření projektu bylo třeba importovat parametry kamery Ladybug 5, ostatní parametry kamer a skenerů jsou přeneseny z nájezdu. Projekt je členěn do menších úseků - Recordů. Projekt zobrazuje data jednotlivých Recordů. Ke každému Recordu náleží skupina souborů se snímkovými i laserovými daty. V této práci nebylo zpracování snímků řešeno, a to z důvodu, že zpracování snímků je v rámci projektu specifického výzkumu obsahem diplomové práce Bc. Jany Otrusínové.

Jako první je nutné přiřadit k projektu správnou trajektorii. Jako původní trajektorie je v RiPROCESSu zvolena již zpřesněná trajektorie z programu POSPac. Poté je možné vykreslit data z laserového skenování vzhledem k této trajektorii.

Zobrazování mračen v RiPROCESSu probíhá za použití modulu Data Wizard. Modul zajistí načtení trajektorie (SDCImport) a pomocí funkce RiWORLD je vykresleno mračno. Všechny tyto funkce jsou součástí programu RiPROCESS. Vykreslení mračna v této fázi však není nezbytně nutné. V následující části dochází k jeho vyrovnání a po vyrovnání se celé vykreslení mračna provádí znovu. Vyrovnáním je myšlen proces, při kterém dochází ke změně souřadnic bodů mračna v závislosti na zpřesněné trajektorii nájezdu.

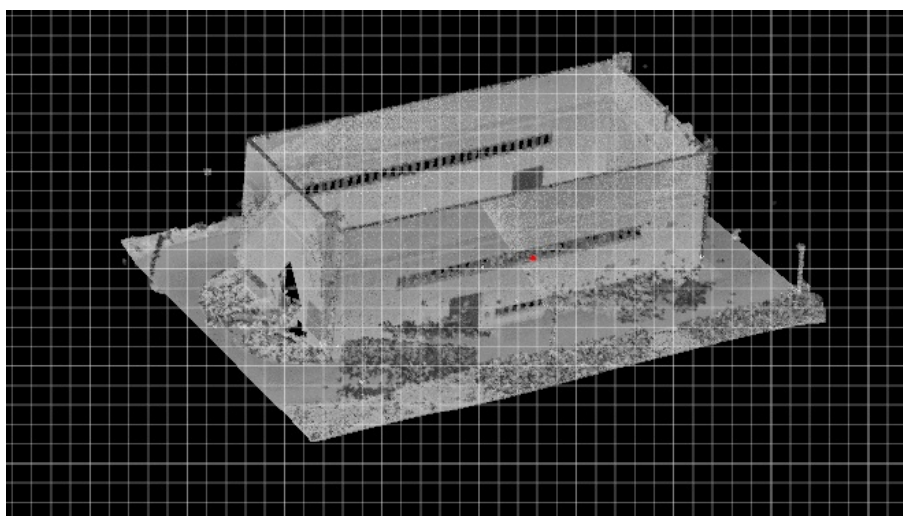
Nejprve bylo třeba ztotožnit vícenásobné průjezdy lokalitou, aby pozdější označování bodů pro vlíčování a kontrolu bylo více efektivní. Zpracování vícenásobných průjezdů proběhlo pomocí funkce RiPRECISION. Opět se jedná o modul, který RiPROCESS obsahuje. Po spuštění modulu RiPRECISION se nastavuje způsob urovnání. Jsou zde na výběr možnosti Automatic Features (automatické funkce), při kterých dochází k urovnání mračen mezi sebou na základě vzájemné podobnosti. Dalšími možnostmi urovnání je urovnání pomocí vlíčovacích bodů nebo navazujících linií. V této práci bylo používáno urovnání pomocí vlíčovacích bodů v různých konfiguracích. Podrobněji bude o konfiguracích pojednáno v následující kapitole. Protokol prvního urovnání pomocí Automatic Features je přílohou č. 2.2 této práce. Po tomto urovnání znovu probíhá funkce RiWORLD, aby došlo k vykreslení mračna.

Zobrazení mračen je možné v pohledu - záložka View. V pohledu jsou zobrazena data, která jsou do tohoto zobrazení přesunuta. Je možné zobrazit trajektorii, mračna bodů nebo pozice kamer. Všechna zobrazená data lze v náhledu vypínat a zapínat, aby byla zobrazena pouze data potřebná v danou chvíli. Pohled poskytuje náhled ve 2D a 3D zobrazení. Ve 2D zobrazení je možné zobrazit trajektorii, ze které aktuální mračno vychází. Na obr. 13 je vidět zobrazení trajektorie v pohledu.



*Obr.13: RiPROCESS - Pohled 2D*

Pro zobrazení mračna se musí náhled přepnout do zobrazení 3D. Na obr. 14 vidíme zobrazení části mračna ve 3D pohledu. Pro zobrazení bylo zvoleno vykreslení dle odrazivosti.



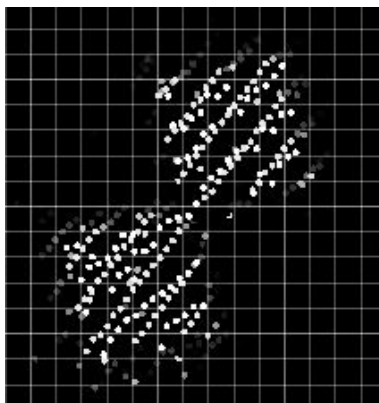
*Obr. 14: RiPROCESS - Pohled 3D*

### 5.2.1. OZNAČOVÁNÍ BODŮ KALIBRAČNÍHO POLE

Před označováním terčů v mračnu jsou do projektu nahrány souřadnice bodů kalibračního pole. V mračnech dochází k označování navazujících bodů. Všechny body kalibračního pole byly v mračnu bodů označeny jako navazovací a k nim byly přiřazeny souřadnice získané metodou nejmenších čtverců. V dalším urovnání pomocí funkce RiPRECISION se poté z navazovacích bodů volí, které jsou použity jako vlíčovací a které budou sloužit jako kontrolní body. Počet vlíčovacích bodů byl volen dle varianty, vždy byl počet kontrolních bodů vyšší než 100. Výběr vlíčovacích bodů byl přizpůsoben optimálnímu rozmístění vlíčovacích bodů okolo lokality. Zároveň byly jako vlíčovací voleny pouze body, které při dvojím zaměření neprokazovaly odchylku větší než dvojnásobek směrodatné odchylky.

Označování bodů probíhá v mračnu bodů zobrazeném v pohledu. Mračno bodů bylo zobrazeno pomocí míry odrazivosti. Jednotlivé terče byly označovány dle následujícího postupu.

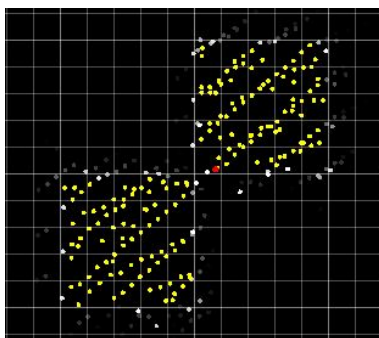
V mračnu byl nalezen terč a úpravou odrazivosti a výběrem malé části mračna dojde k zobrazení samotného terče. Vzhledem ke čtvercovému šachovnicovému terči jsou takto viditelné pouze bílé části terče. V těchto bílých částech se nachází několik řad bodů ze skeneru. Zobrazení terče vidíme na obr. 15.



*Obr. 15: Zobrazená vybrané části bodového mračna*

V okně pohledu jsou naznačeny linie, které jsou od sebe vzdáleny o konstantní hodnotu a tvoří tak čtvercovou síť. Každý průsečík linie je možné pomyslně označit souřadnicemi, které značí vzdálenost od nulové linie v horizontálním nebo svislém směru. Oblast terče je přesunuta a pootočena tak, aby se v místě dotyku zobrazených čtverců nacházela

souřadnice linií  $[0, 0]$ . Množina bodů v bílých částech terče, o velikosti  $10 \times 10$  cm, je označena. Tyto body tvoří rovinu. Označení bodů je vidět na obr. 16.



*Obr. 16: Označené body terče*

Kliknutím do bodu  $[0,0]$  se v průsečíku roviny bodů a svislice v bodě kliknutí vytvoří nový navazovací bod, jemuž je přiřazena souřadnice. Pro jednodušší označení se postupně zapínají a vypínají jednotlivé Recordy. Vzhledem k posunu mračna ve směru jízdy vozidla je vhodnější označování bodů v Recordech zvlášť.

Po označení všech bodů je možné přistoupit ke vlícování a urovnání mračen. Vlícování a urovnání probíhá v různých variantách. Jednotlivé varianty jsou blíže popsány v kapitole 5.2.2.

Urovnání a vlícování bodových mračen probíhá v modulu RiPRECISION. Při tomto urovnání probíhá se používá urovnání podle vlícovacích bodů. Výsledkem urovnání je nová trajektorie, od níž jsou poté určeny i souřadnice podrobných bodů bodového mračna. Poté opět následuje vykreslení mračna pomocí nástroje RiWORLD a zobrazení v pohledu.

Po urovnání je možné exportovat souřadnice bodů zaznačených v bodových mračnách. Souřadnice označených bodů byly exportovány ve formátu \*.csv. Po exportu následoval převod do topocentrické soustavy a analýza porovnáním souřadnic kontrolních bodů.



## 5.2.2. VARIANTY VYROVNÁNÍ

Urovnání vlícováním na body bylo provedeno v několika variantách. Bylo testováno, jaká konfigurace vlícovacích bodů je nejlepší. Jednotlivé varianty se od sebe liší volbou vlícovacích bodů - horizontálních nebo vertikálních. Dalším faktorem byl počet vlícovacích bodů. Jednou z variant byl velký počet vlícovacích bodů (přibližně 100 vlícovacích bodů). Druhou variantou byl malý počet bodů (přibližně 10 bodů), které však byly rozmístěny rovnoměrně okolo celé lokality. Posledním faktorem byl typ urovnání. Jak již bylo řečeno v kapitole 5.2. je vyrovnáním myšlen proces, při kterém dochází ke změně souřadnic bodů mračna v závislosti na zpřesněné trajektorii nájezdu. Typem urovnání je myšlen typ použité transformace během vyrovnání.

### 5.2.2.1. VARIANTY UROVNÁNÍ

Byly použity varianty urovnání:

- Non-rigid, with translation
- Rigid, with translation.

Varianta *Rigid, with translation* je realizována shodnostní transformací na body kalibračního pole. Trajektorie a s ní i mračno bodů jsou transformovány pomocí 6 transformačních parametrů, což jsou 3 translace a 3 rotace.

U varianty *Non-rigid, with translation* jsou trajektorie a mračno transformovány rovněž pomocí 6 transformačních parametrů, současně ale dochází k lokální deformaci mračna, aby mračno co nejvíce přimykalo ke vlícovacím bodům. [13]

#### 5.2.2.2. VARIANTY POUŽITÝCH VLÍCOVACÍCH BODŮ

Nejprve byly testovány varianty s použitým pouze horizontálních terčů. Toto řešení bylo testováno především kvůli potřebě podrobného testování odchylek na vertikálních terčích. S použitím horizontálních vlícovacích bodů byly navrženy 4 varianty urovnání. V této kapitole dojde pouze k popisu jednotlivých variant, dosažené výsledky jsou obsaženy v kapitole 6.

Varianty s použitím horizontálních vlícovacích bodů:

- Metoda urovnání Non-rigid, with translation s použitím 98 vlícovacích bodů - dále označováno jako *Non-rigid, Vše*

- Metoda urovnání Non-rigid, with translation s použitím 10 vlícovacích bodů - dále označováno jako *Non-rigid, Výběr 10*
- Metoda urovnání Rigid, with translation s použitím 98 vlícovacích bodů - dále označováno jako *Rigid, Vše*
- Metoda urovnání Rigid, with translation s použitím 10 vlícovacích bodů - dále označováno jako *Rigid, Výběr 10*

Zpracováním těchto 4 možností byla vyhodnocena jako příznivější varianta urovnání *Non-rigid, with translation*. V další části testování, už se k urovnání varianta *Rigid, with translation* nepoužívá. Další testování zahrnuje použití vertikálních terčů ve variantách:

- Varianta s použitím 95 vertikálních vlícovacích bodů - dále označováno jako *Vertikální, Vše*
- Varianta s použitím 9 vertikálních vlícovacích bodů - dále označováno jako *Vertikální, Výběr 9*
- Varianta s použitím 10 horizontálních a 9 vertikálních vlícovacích bodů - dále označováno jako *Horizontální a vertikální, Výběr*

V poslední části bylo potřebné najít ideální počet vlícovacích bodů. K tomuto účelu byly navrženy další konfigurace vlícovacích bodů, přičemž byl opět použit pouze typ urovnání *Non-rigid, with translation*. Jednalo se o varianty:

- Varianta s použitím 20 horizontálních vlícovacích bodů, označováno jako *Horizontální, Výběr 20*
- Varianta s použitím 20 vertikálních vlícovacích bodů, označováno jako *Vertikální, Výběr 20*
- Varianta s použitím 25 horizontálních vlícovacích bodů, označováno jako *Horizontální, Výběr 25*

Pro přehlednost jsou parametry jednotlivých variant zobrazeny v tab. 2.

*Tab. 2: Parametry variant vyrovnání*

<b>Označení varianty</b>	<b>Počet vlíčovacích bodů</b>	<b>Varianta urovnání</b>
Non-rigid, Vše	98 horizontálních	Non-rigid, with translation
Non-rigid, Výběr 10	10 horizontálních	Non-rigid, with translation
Rigid, Vše	98 horizontálních	Rigid, with translation
Rigid, Výběr 10	10 horizontálních	Rigid, with translation
Vertikální, Vše	95 vertikálních	Non-rigid, with translation
Vertikální, Výběr 9	9 vertikálních	Non-rigid, with translation
Horizontální a vertikální výběr	10 horizontálních, 9 vertikálních	Non-rigid, with translation
Horizontální, Výběr 20	20 horizontálních	Non- rigid, with traslation
Vertikální, Výběr 20	20 vertikálních	Non- rigid, with traslation
Horizontální, Výběr 25	25 horizontálních	Non-rigid, with translation

## 6. ANALÝZA BODOVÝCH MRAČEN

Testování bodových mračen probíhalo dvěma způsoby. Jedním ze způsobů bylo porovnání určených souřadnic kontrolních bodů. Na základě tohoto porovnání je navržena optimální podoba počtu a rozmístění vřícovacích bodů. Druhá část spočívá v analýze přesnosti určení terčů v různých výškách.

### 6.1. ANALÝZA PŘESNOSTI URČENÍ SOUŘADNIC

Prvním způsobem bylo porovnání určených souřadnic kontrolních bodů. Byly porovnány souřadnice bodů určených vyrovnáním metodou nejmenších čtverců a souřadnice získané po urovnání bodového mračna. Porovnávání souřadnic bylo realizováno v topocentrické souřadnicové soustavě. Porovnáním byly získány odchylky  $\delta_N$ ,  $\delta_E$  a  $\delta_U$ . V rámci tohoto testování bylo analyzováno všech 10 variant urovnání. Použité varianty jsou blíže popsány v kapitole 5.2.2.2.. Z dosažených odchylek byly vypočteny střední chyby pro jednotlivé souřadnice dle vzorců

$$m_N = \sqrt{\frac{\delta_N^2}{n}}, m_E = \sqrt{\frac{\delta_E^2}{n}}, m_U = \sqrt{\frac{\delta_U^2}{n}}.$$

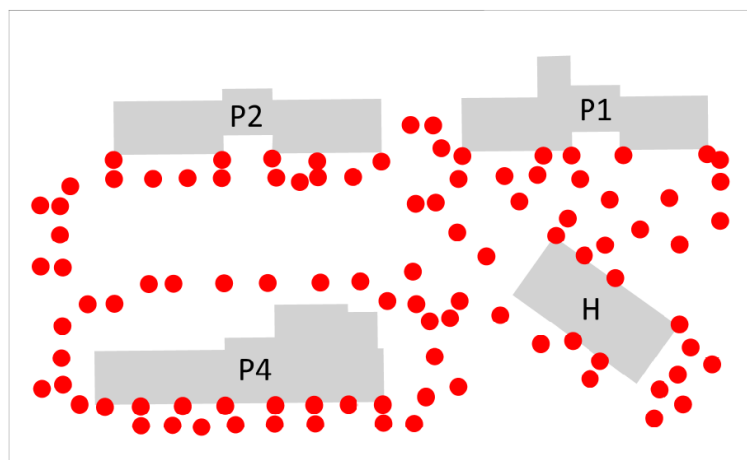
Jelikož jsou souřadnice získané vyrovnáním metodou nejmenších čtverců určené s řádově vyšší přesností, je možné považovat  $\delta_N$ ,  $\delta_E$  a  $\delta_U$  za skutečné chyby. Z dosažených středních chyb byla vypočtena střední polohová chyba dle vzorce

$$m_p = \sqrt{m_N^2 + m_E^2 + m_U^2}.$$

Polohové chyby jednotlivých variant, které jsou uvedeny v kapitole 5.2.2.2. byly mezi sebou posuzovány na základě Fisherova testu na hladině pravděpodobnosti 95%. Dosažené výsledky jednotlivých variant vidíme v tabulkách v následujících podkapitolách.

Tabulka s výsledky obsahuje pro každou variantu počet kontrolních bodů, střední souřadnicovou chybu  $m_i$  a hodnoty maximální a minimální odchylky. Pro lepší představivost byly odchylky na kontrolních bodech znázorněny v přiložených histogramech. Pro každou variantu byl vytvořen přehled rozmístění vřícovacích bodů. V přehledu jsou červeně vyznačeny horizontální vřícovací body a modře vertikální vřícovací body.

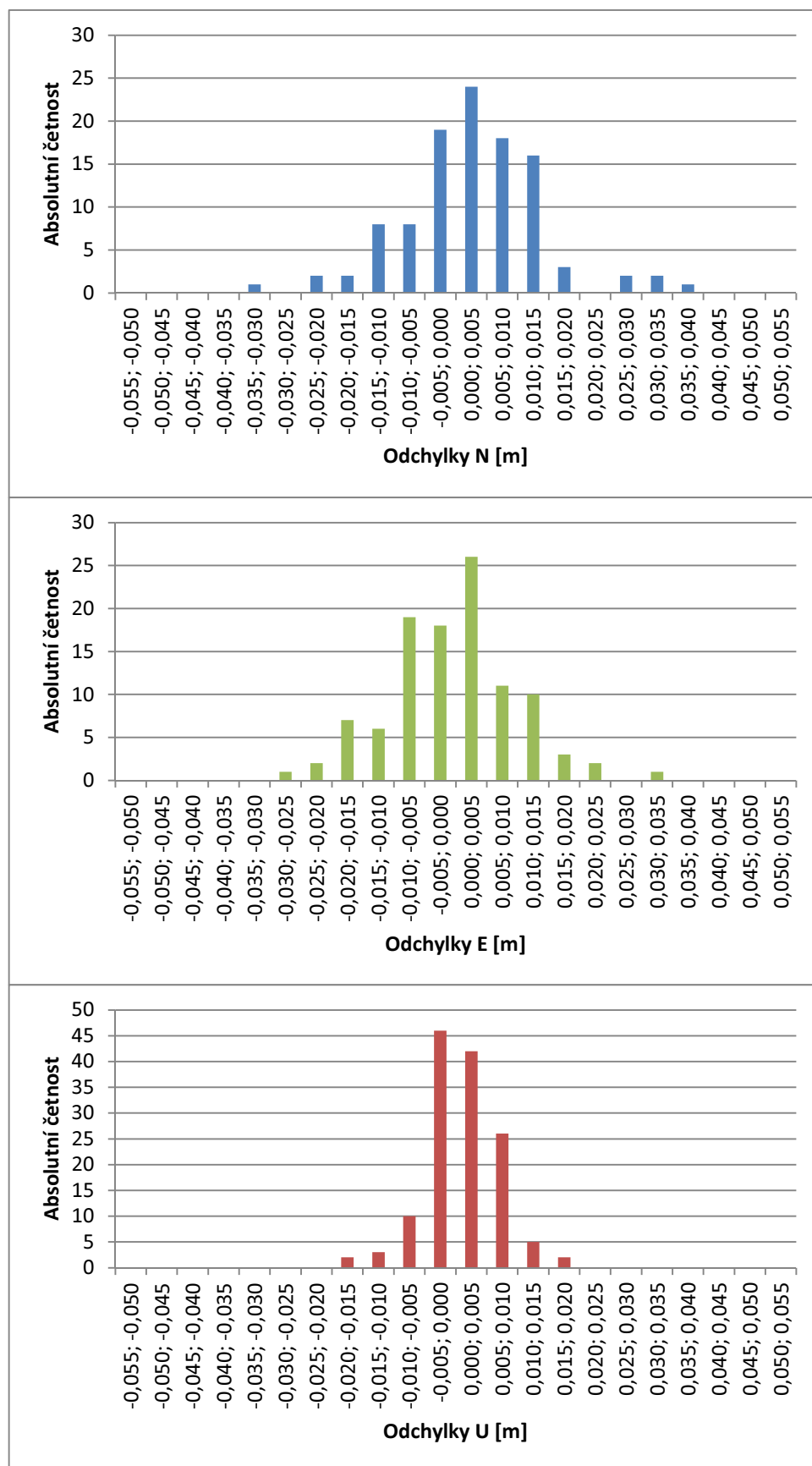
## 1. Varianta Non-rigid, Vše



Obr. 17: Přehled vlíčovacích bodů Non-rigid, Vše

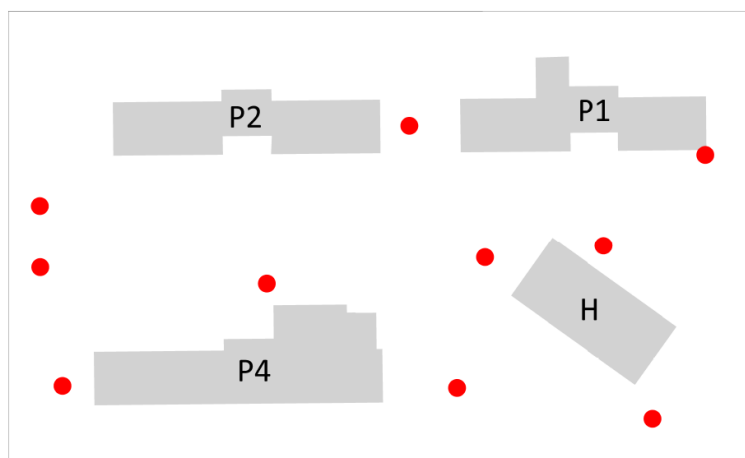
Tab. 3: Výsledky Non-rigid, Vše

Non-rigid, Vše		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		106	106	106
$m_i$ [m]		<b>0,011</b>	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>
MAX [m]		0,035	0,032	0,018
MIN [m]		-0,031	-0,026	-0,019
Odchylky na KB	< 1 cm	65%	70%	91%
	1 - 2 cm	27%	24%	9%
	2 - 3 cm	4%	5%	0%
	> 3 cm	4%	1%	0%



Obr. 18: Histogram Non-rigid, Vše

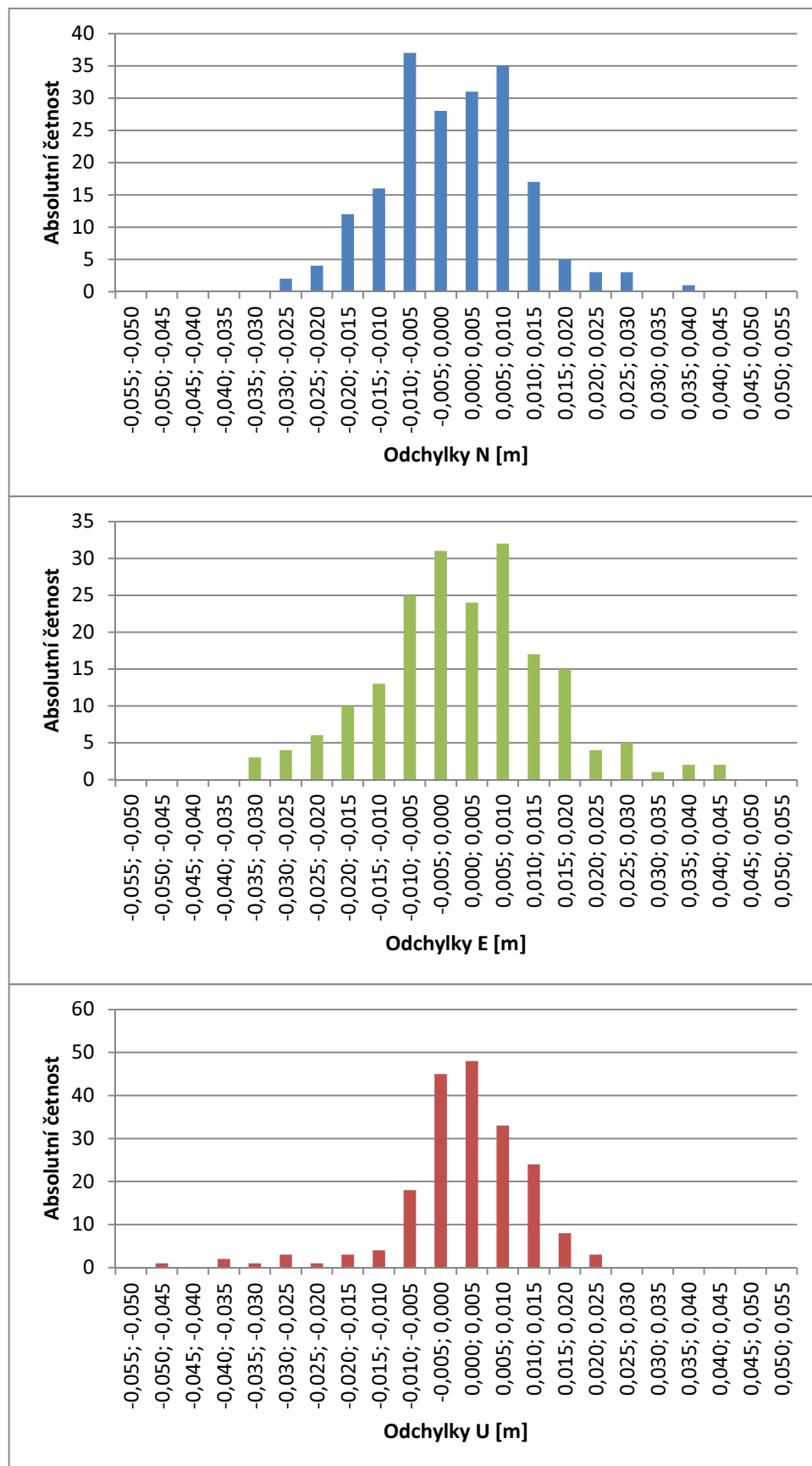
## 2. Varianta Non-rigid, Výběr 10



Obr. 19: Přehled vlíčovacích bodů Non-rigid, Výběr 10

Tab. 4: Výsledky Non-rigid, Výběr 10

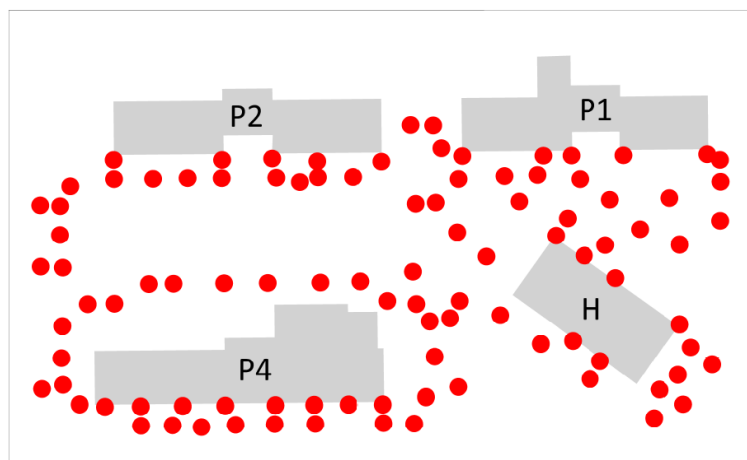
Non-rigid, Výběr 10		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		194	194	194
$m_i$ [m]		<b>0,011</b>	<b>0,014</b>	<b>0,011</b>
MAX [m]		0,040	0,044	0,024
MIN [m]		-0,027	-0,031	-0,046
Odchylky na KB	< 1 cm	67%	58%	74%
	1 - 2 cm	25%	28%	20%
	2 - 3 cm	6%	10%	4%
	> 3 cm	1%	4%	2%



Obr. 20: Histogram Non-rigid, Výběr 10



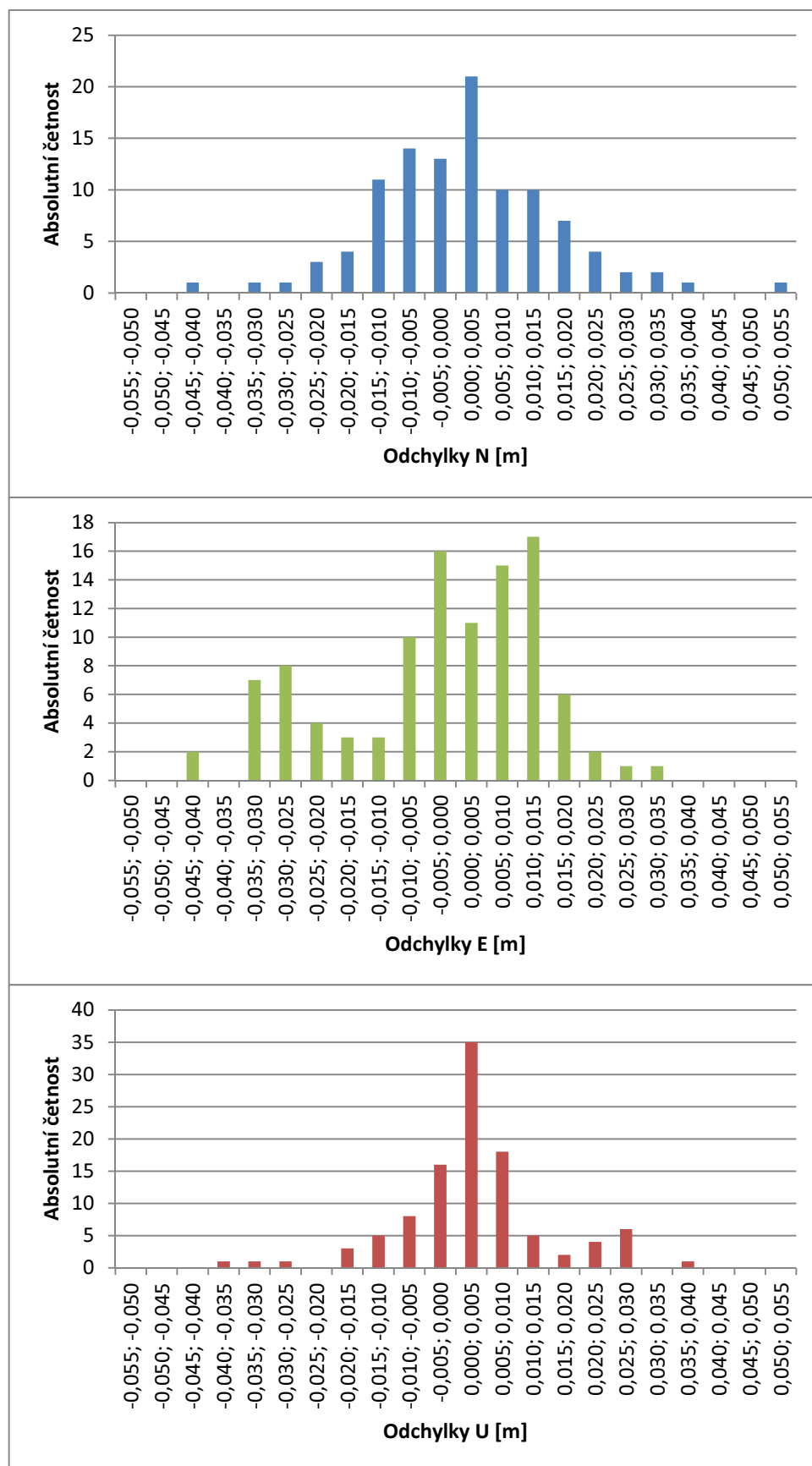
### 3. Varianta Rigid, Vše



Obr. 21: Přehled vlíčovacích bodů Rigid, Vše

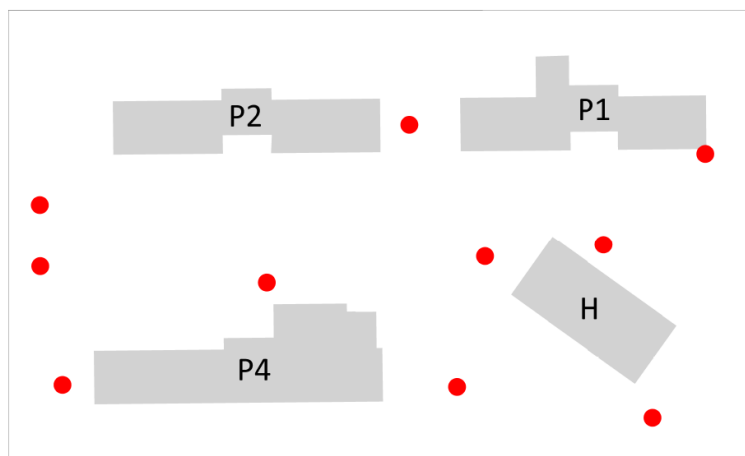
Tab. 5: Výsledky Rigid, Vše

Rigid, Vše		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		106	106	106
$m_i$ [m]		<b>0,015</b>	<b>0,017</b>	<b>0,012</b>
MAX [m]		0,054	0,031	0,037
MIN [m]		-0,041	-0,041	-0,036
Odchylky na KB	< 1 cm	55%	49%	73%
	1 - 2 cm	30%	27%	14%
	2 - 3 cm	9%	14%	10%
	> 3 cm	6%	10%	3%



Obr. 22: Histogram Rigid, Vše

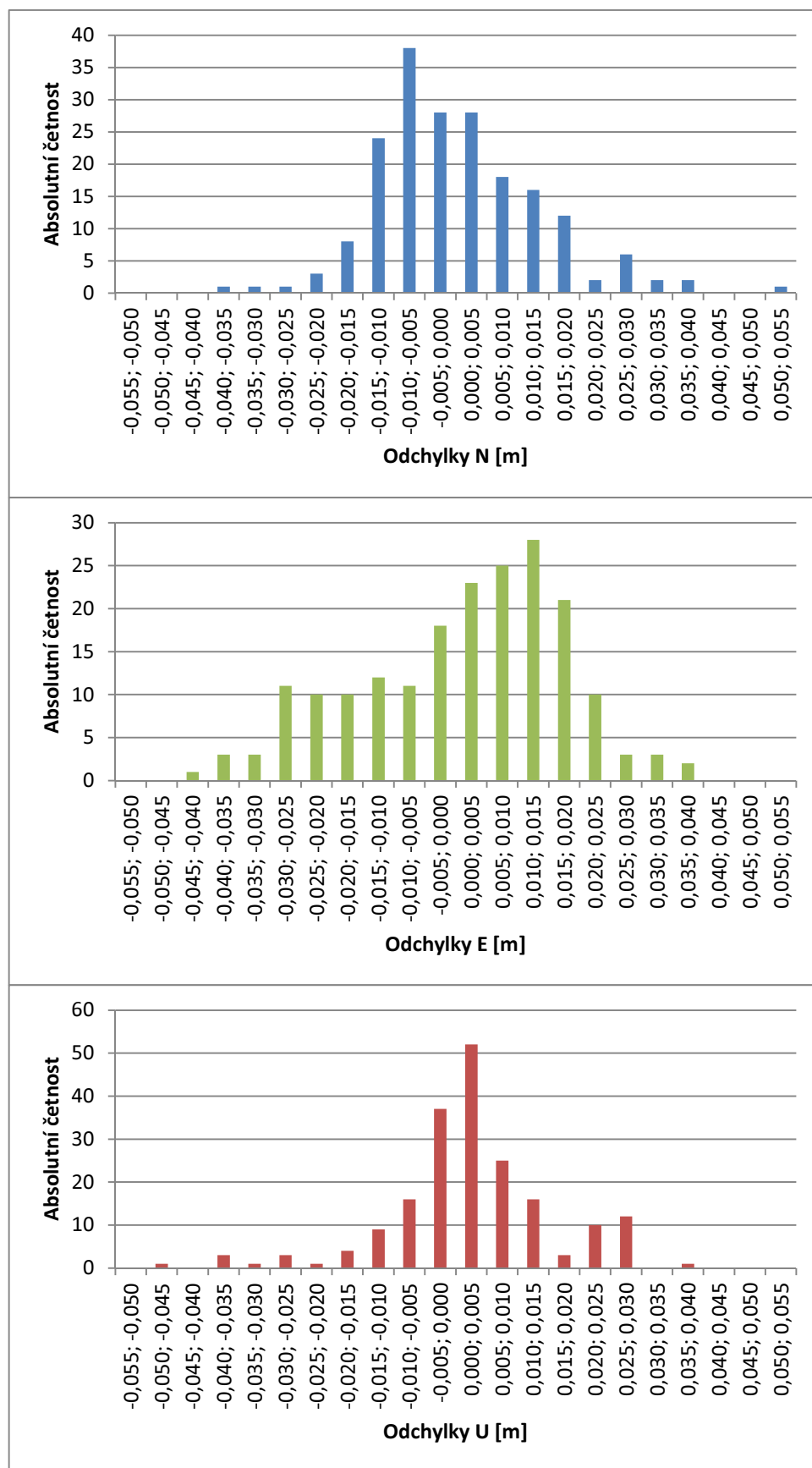
#### 4. Varianta Rigid, Výběr 10



Obr. 23: Přehled vlíčovacích bodů Rigid, Výběr 10

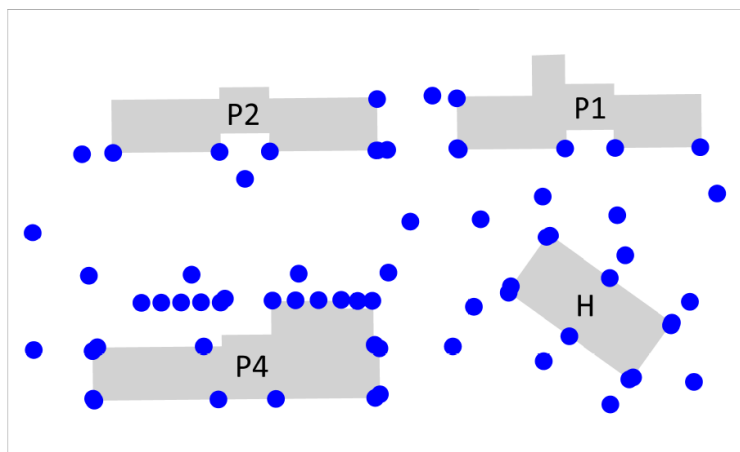
Tab. 6: Výsledky Rigid, Výběr 10

Rigid, Výběr 10		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		194	194	194
$m_i$ [m]		<b>0,014</b>	<b>0,017</b>	<b>0,013</b>
MAX [m]		0,053	0,037	0,038
MIN [m]		-0,040	-0,043	-0,050
Odchylky na KB	< 1 cm	59%	40%	67%
	1 - 2 cm	31%	37%	17%
	2 - 3 cm	6%	17%	13%
	> 3 cm	4%	6%	3%



Obr. 24: Histogram Rigid, Výběr 10

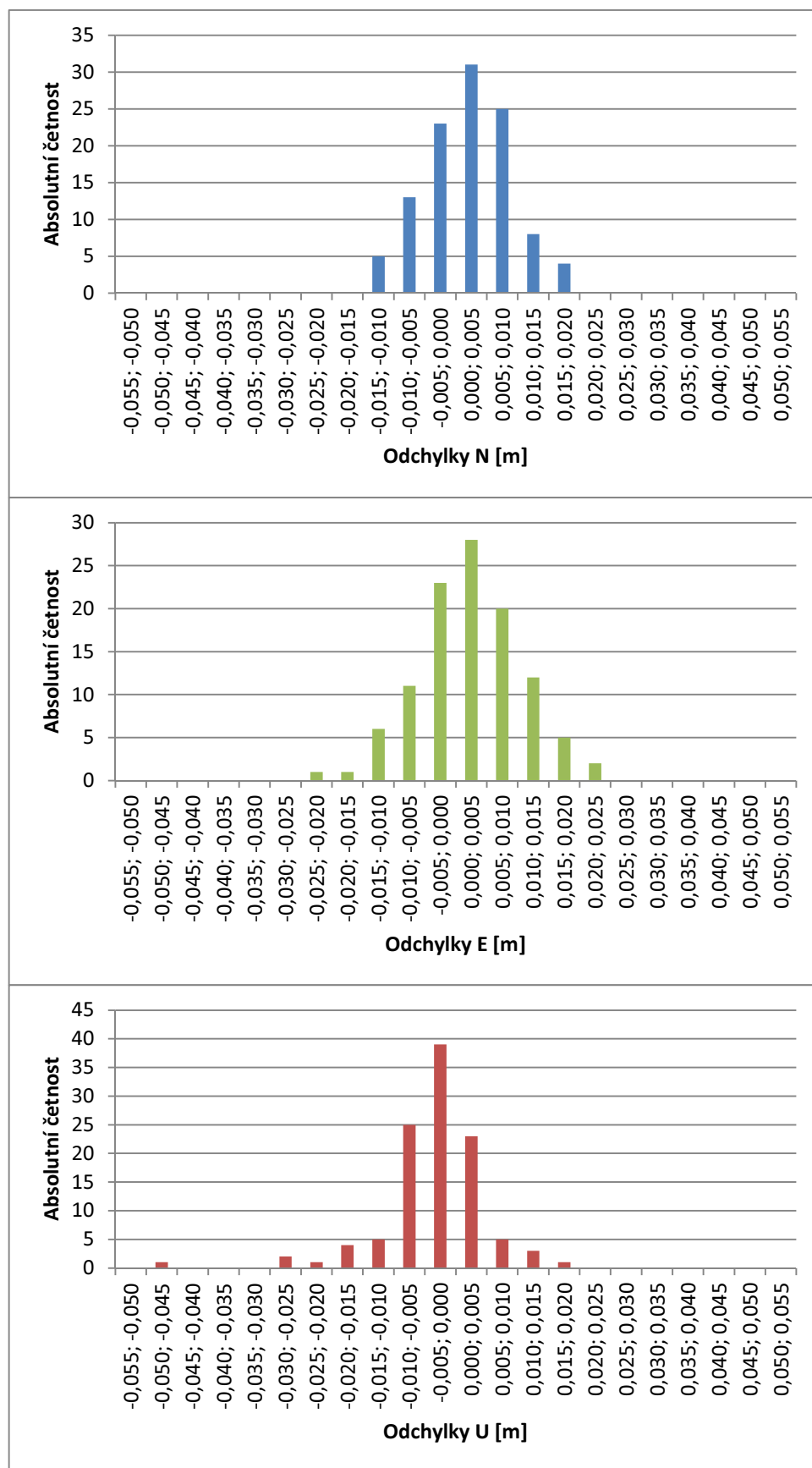
## 5. Varianta Vertikální, Vše



Obr. 25: Přehled vřícovacích bodů Vertikální, Vše

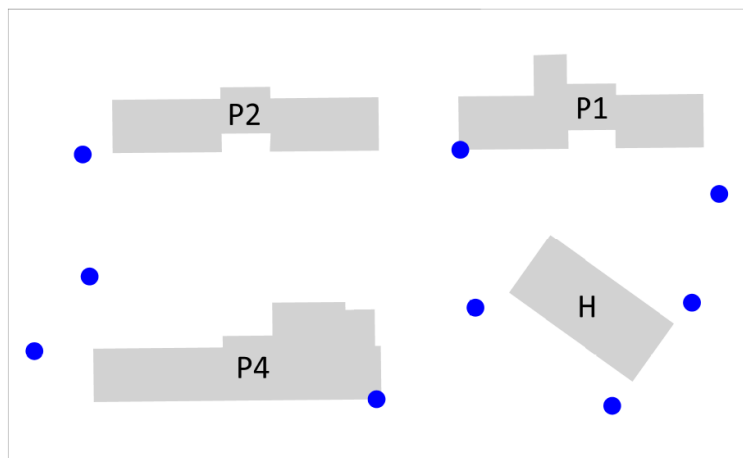
Tab. 7: Výsledky Vertikální, Vše

Vertikální, Vše		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		109	109	109
$m_i$ [m]		<b>0,007</b>	<b>0,009</b>	<b>0,009</b>
MAX [m]		0,018	0,022	0,020
MIN [m]		-0,015	-0,021	-0,050
Odchyłky na KB	< 1 cm	84%	75%	84%
	1 - 2 cm	16%	22%	12%
	2 - 3 cm	0%	3%	3%
	> 3 cm	0%	0%	1%



Obr. 26: Histogram Vertikální, Vše

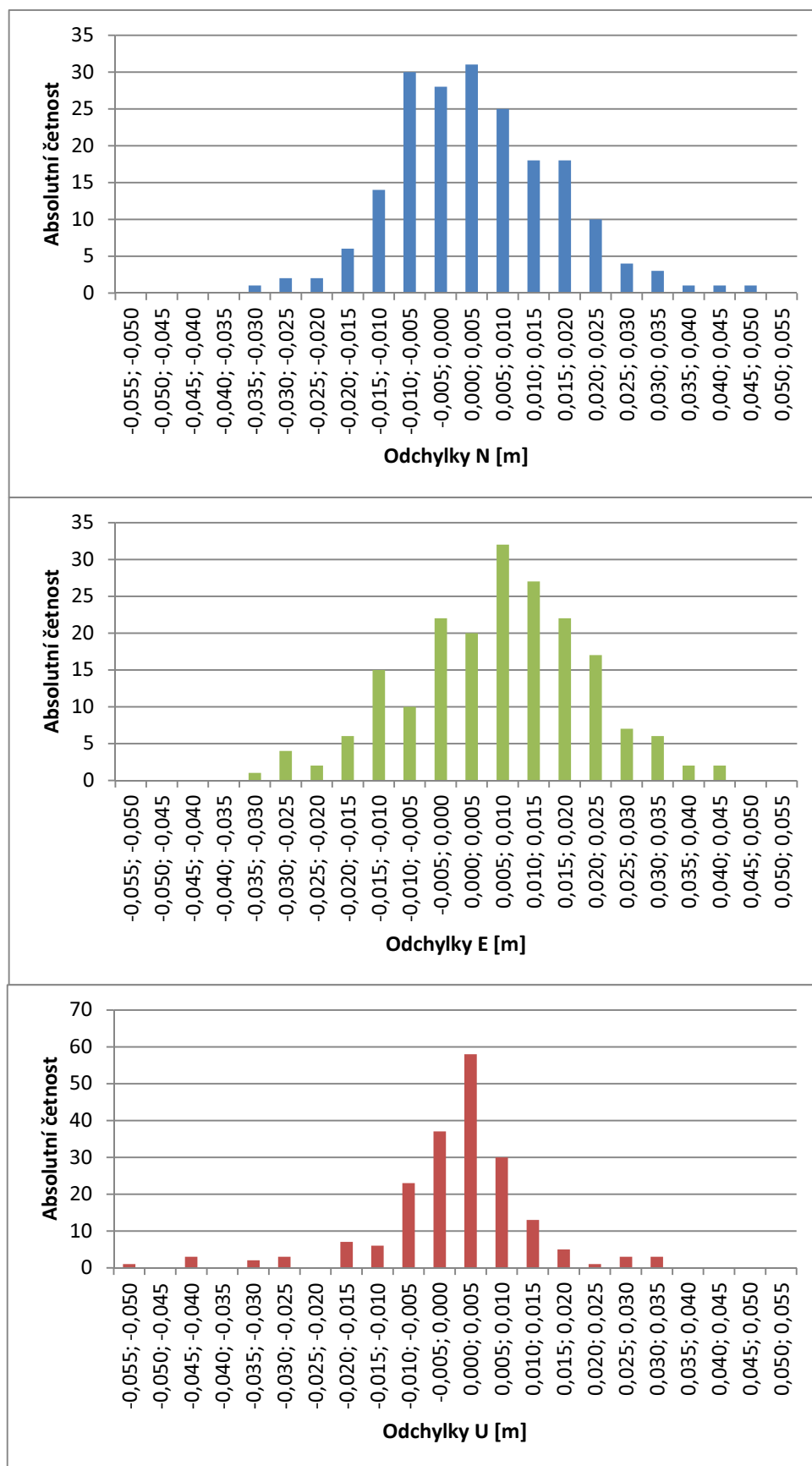
## 6. Varianta Vertikální, Výběr 9



Obr. 27: Přehled vřícovacích bodů Vertikální, Výběr 9

Tab. 8: Výsledky Vertikální, Výběr 9

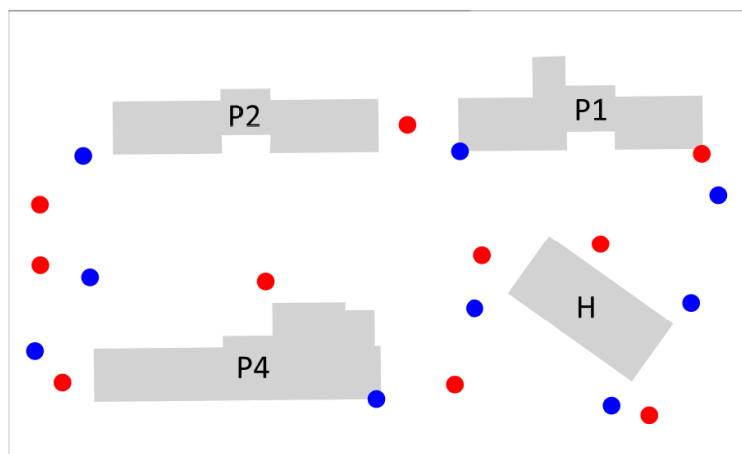
Vertikální, Výběr 9		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		195	195	195
$m_i$ [m]		<b>0,014</b>	<b>0,016</b>	<b>0,012</b>
MAX [m]		0,046	0,042	0,031
MIN [m]		-0,033	-0,035	-0,054
Odchylky na KB	< 1 cm	58%	43%	76%
	1 - 2 cm	29%	36%	16%
	2 - 3 cm	9%	15%	4%
	> 3 cm	4%	6%	4%



Obr. 28: Histogram Vertikální, Výběr 9



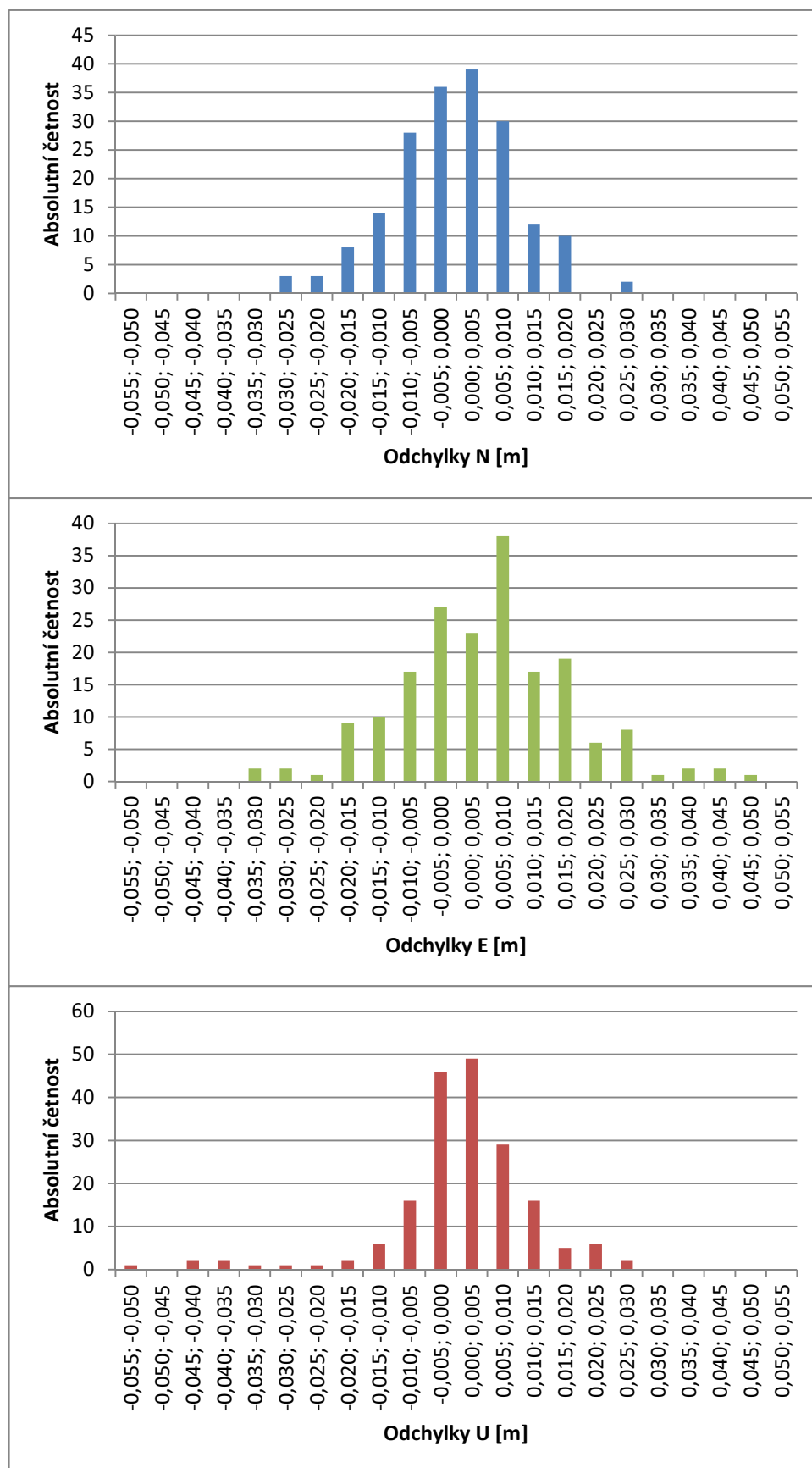
## 7. Varianta Horizontální a vertikální, Výběr



Obr. 29: Přehled vlíčovacích bodů Horizontální a vertikální, Výběr

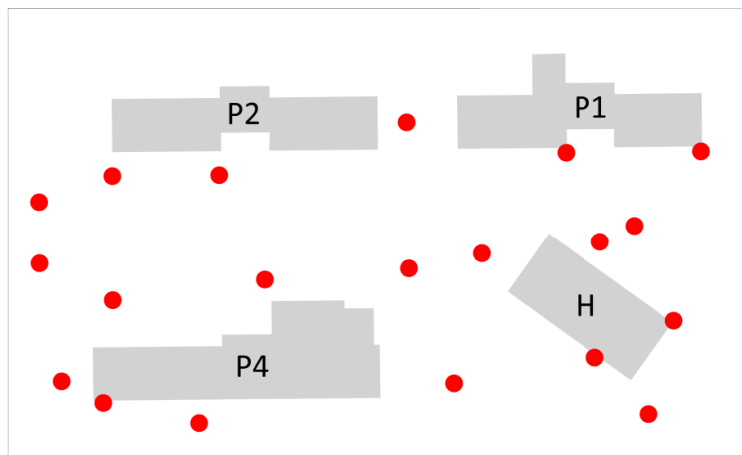
Tab. 9: Výsledky Horizontální a vertikální, Výběr

Výběr horizontální a vertikální		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		185	185	185
$m_i$ [m]		<b>0,010</b>	<b>0,015</b>	<b>0,012</b>
MAX [m]		0,029	0,046	0,027
MIN [m]		-0,029	-0,031	-0,053
Odchyly na KB	< 1 cm	72%	57%	76%
	1 - 2 cm	24%	30%	16%
	2 - 3 cm	4%	9%	5%
	> 3 cm	0%	4%	3%



Obr. 30: Histogram Horizontální a vertikální, Výběr

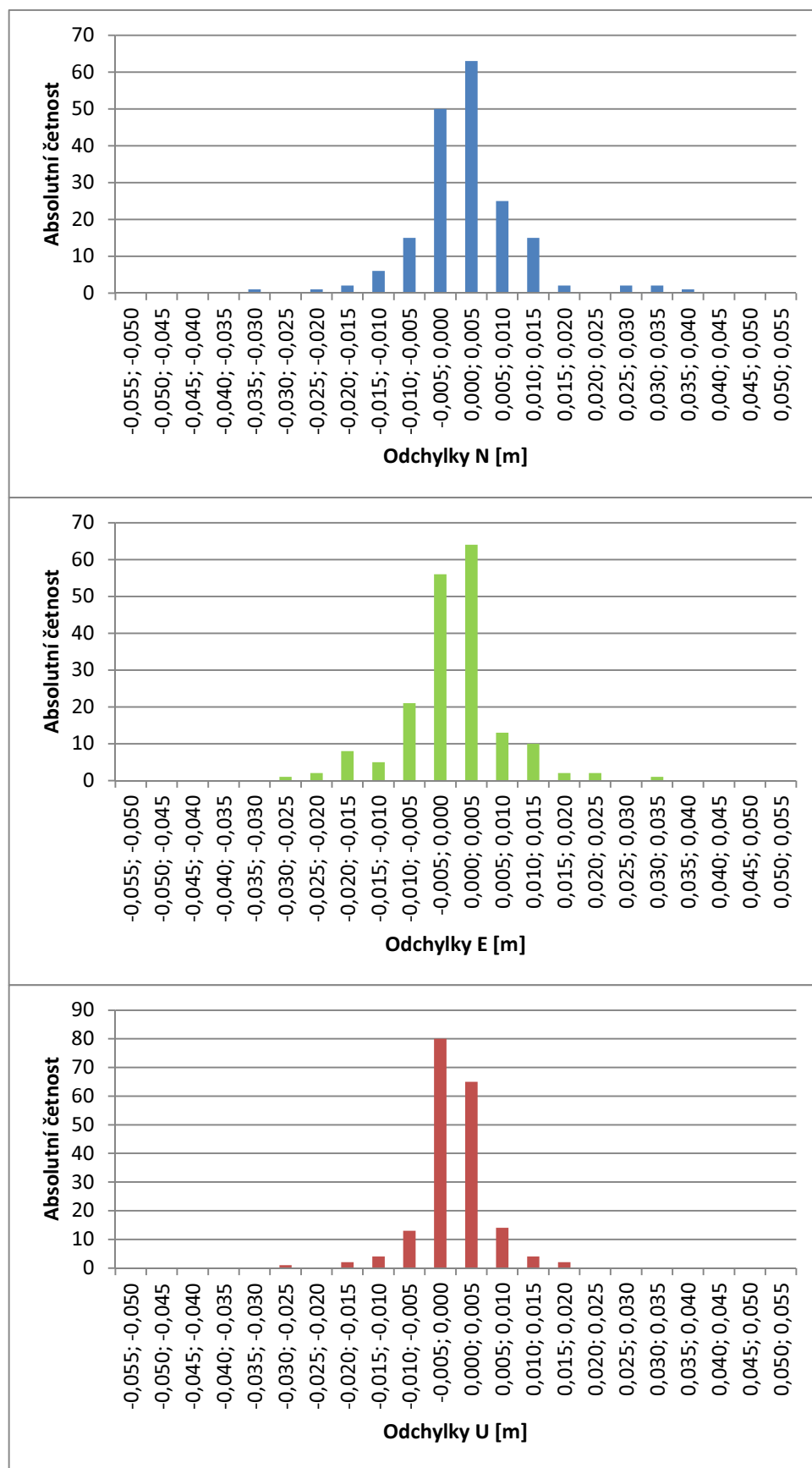
## 8. Varianta Horizontální, Výběr 20



Obr. 31: Přehled vlíčovacích bodů Horizontální, Výběr 20

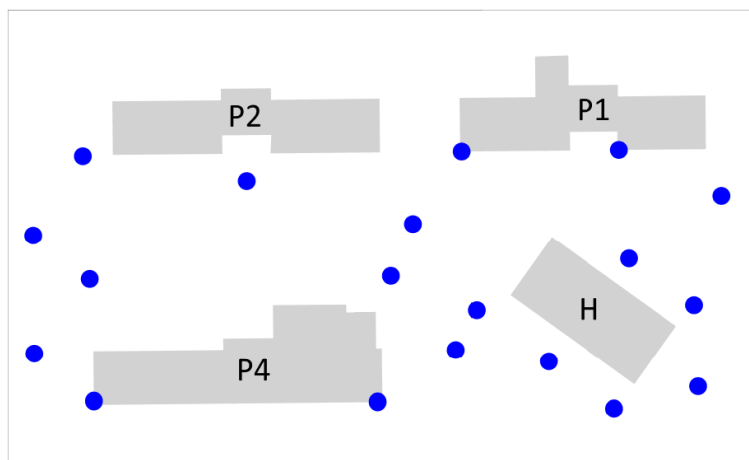
Tab. 10: Výsledky Horizontální, Výběr 20

Horizontální, Výběr 20		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		184	184	184
$m_i$ [m]		0,009	0,008	0,006
MAX [m]		0,035	0,032	0,018
MIN [m]		-0,031	-0,026	-0,028
Odchylky na KB	< 1 cm	80%	81%	91%
	1 - 2 cm	16%	15%	8%
	2 - 3 cm	2%	3%	1%
	> 3 cm	2%	1%	0%



Obr. 32: Histogram Horizontální, Výběr 20

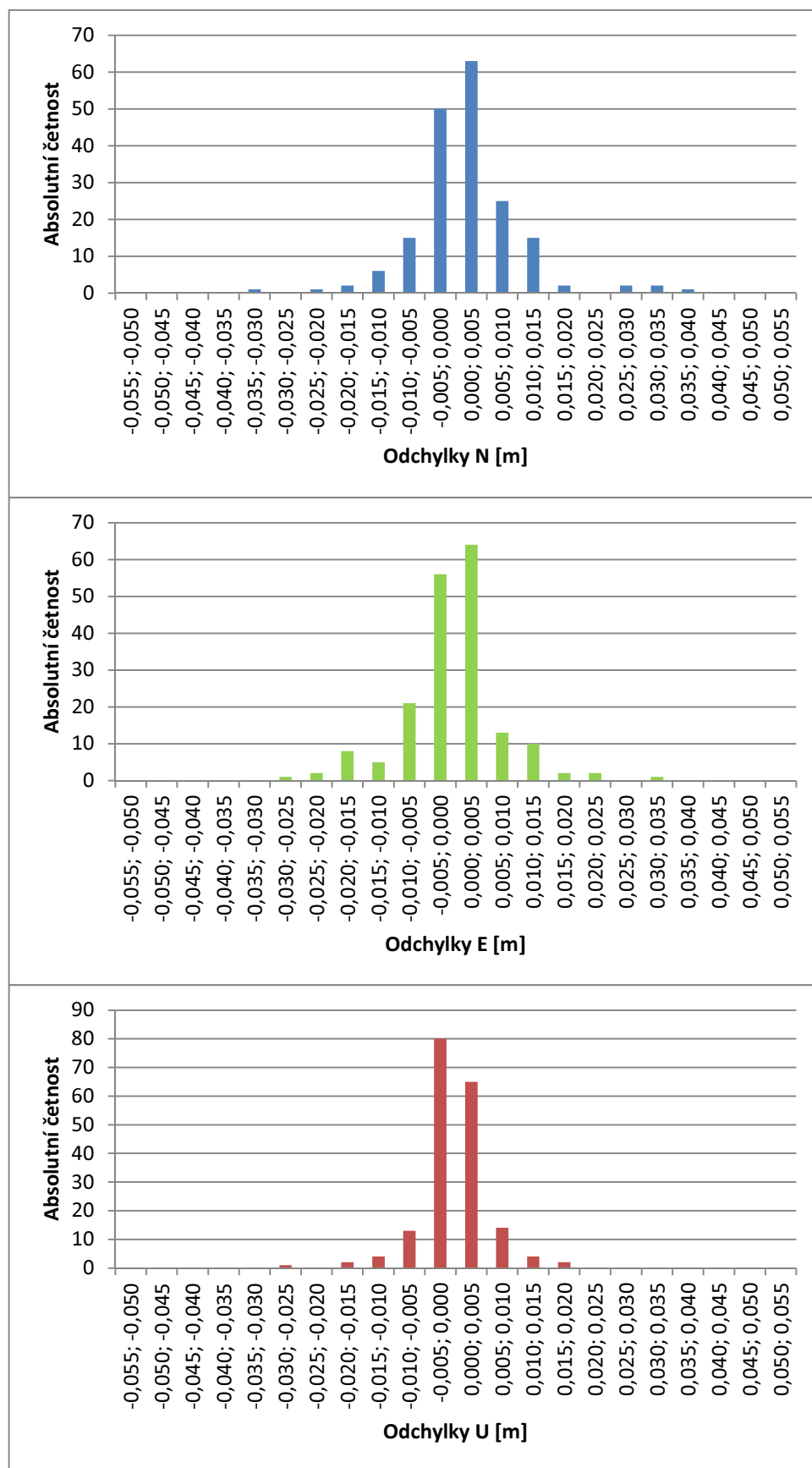
## 9. Varianta Vertikální, Výběr 20



Obr. 33: Přehled vlíčovacích bodů Vertikální, Výběr 20

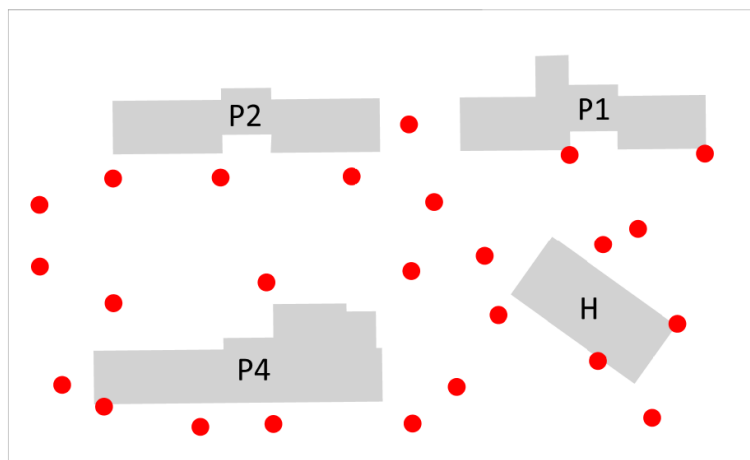
Tab. 11: Výsledky Vertikální, Výběr 20

Vertikální, Výběr 20		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		185	185	185
$m_i$ [m]		<b>0,009</b>	<b>0,008</b>	<b>0,006</b>
MAX [m]		0,035	0,032	0,018
MIN [m]		-0,031	-0,026	-0,028
Odchylky na KB	< 1 cm	83%	83%	93%
	1 - 2 cm	13%	13%	6%
	2 - 3 cm	2%	3%	1%
	> 3 cm	2%	1%	0%



Obr. 34: Histogram Vertikální, Výběr 20

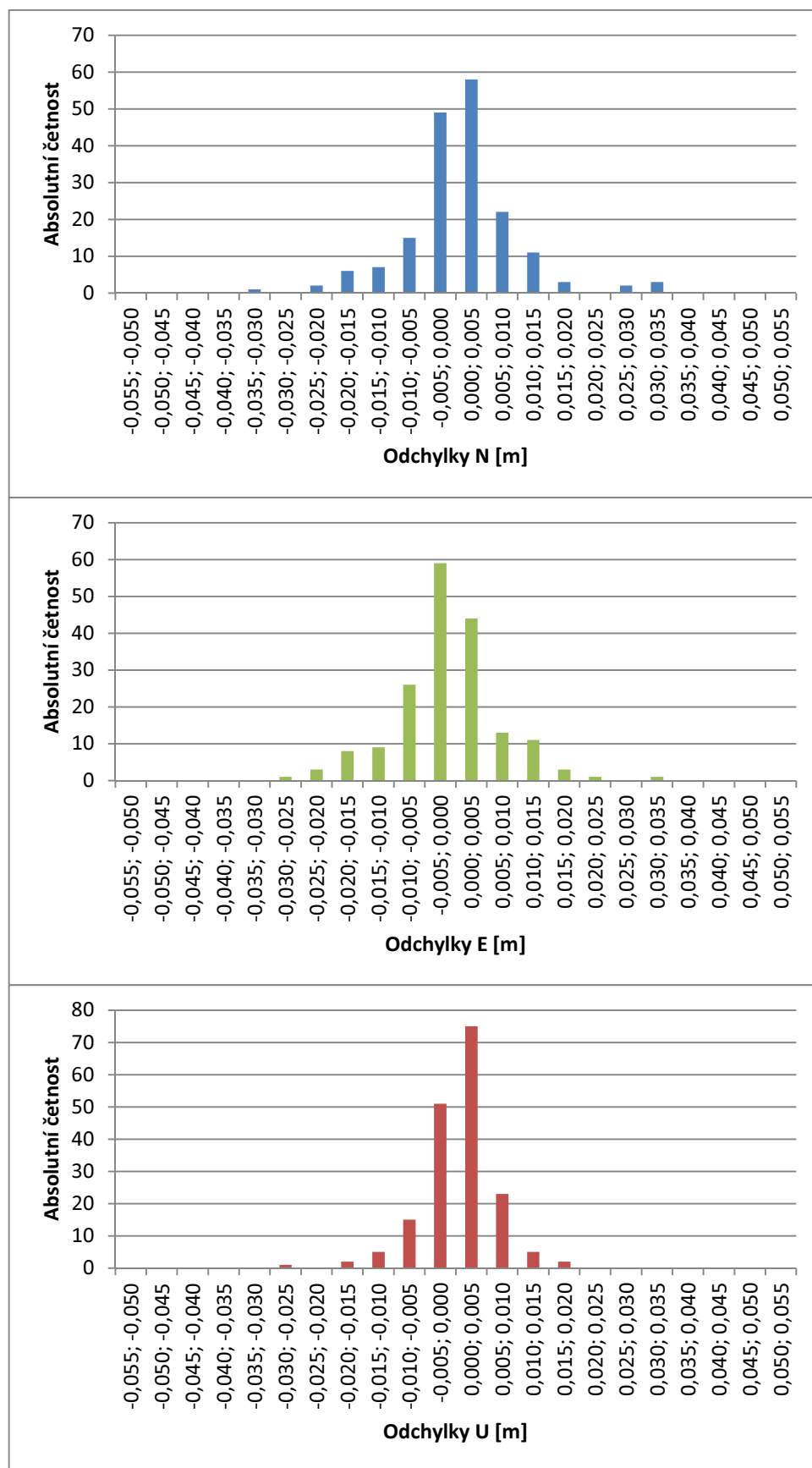
## 10. Varianta Horizontální, Výběr 25



Obr. 35: Přehled vlíčovacích bodů Horizontální, Výběr 25

Tab. 12: Výsledky Horizontální, Výběr 25

Horizontální, Výběr 25		$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB		179	179	179
$m_i$ [m]		0,009	0,008	0,006
MAX [m]		0,035	0,032	0,018
MIN [m]		-0,031	-0,026	-0,028
Odchyłky na KB	< 1 cm	81%	79%	91%
	1 - 2 cm	15%	17%	8%
	2 - 3 cm	2%	3%	1%
	> 3 cm	2%	1%	0%



Obr. 36: Histogram Horizontální, Výběr 25



### 6.1.1. VÝSLEDKY ANALÝZY URČENÍ SOUŘADNIC

Jednotlivé varianty byly mezi sebou porovnávány na základě středních chyb a četností odchylek do určité hodnoty. Pro porovnání byly všechny hodnoty zpracovány do podoby tab. 13, obsahující střední chyby a četnost dosažených odchylek do dvou centimetrů.

Tab. 13: Dosažené výsledky variant

	$m_N$ [m]	$m_E$ [m]	$m_U$ [m]	$m_P$ [m]	$\Delta < 2 \text{ cm}$		
					$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
<i>Non-rigid, Vše</i>	0,011	0,010	0,007	0,016	92 %	94 %	100 %
<i>Non-rigid, Výběr 10</i>	0,011	0,014	0,011	0,021	94 %	86 %	94 %
<i>Rigid, Vše</i>	0,015	0,017	0,012	0,026	85 %	76 %	87 %
<i>Rigid, Výběr 10</i>	0,014	0,017	0,013	0,026	90 %	77 %	83 %
<i>Vertikální, Vše</i>	0,007	0,009	0,009	0,015	100 %	97 %	96 %
<i>Vertikální, Výběr 9</i>	0,014	0,016	0,012	0,024	87 %	79 %	92 %
<i>Horizontální a vertikální výběr</i>	0,010	0,015	0,012	0,022	96 %	87 %	92 %
<i>Horizontální, Výběr 20</i>	0,009	0,008	0,006	0,013	96 %	97 %	100 %
<i>Vertikální, Výběr 20</i>	0,009	0,008	0,006	0,013	97 %	97 %	99 %
<i>Horizontální, Výběr 25</i>	0,009	0,008	0,006	0,013	96 %	96 %	99 %

Všechny varianty poskytují kvalitní výsledky, ale samozřejmě by posouzení záleželo na účelu použití technologie. Z tabulky je patrné, že varianty "Vše" oproti variantám s malým počtem vybraných bodů dosahují lepších výsledků a to především v souřadnici výšky. Z porovnání středních polohových chyb Fisherovým testem vychází, že varianty *Non-rigid*, *Vše* a *Vertikální, Vše* jsou stejně přesné. V praxi však nedochází k vlíčování na příliš vysoký počet vlíčovacích bodů, proto bylo třeba najít variantu, kde by byl použit pouze výběr bodů, ale s uspokojivými výsledky. Varianty s výběrem přibližně 20 vlíčovacích bodů přináší různorodé výsledky. Varianta, kde byly použity současně horizontální a vertikální vlíčovací body poskytuje výsledky srovnatelné s výběry s nízkým počtem bodů. Varianty Horizontální a Vertikální s použitím 20 vlíčovacích bodů poskytují překvapivě výsledky vyšší přesnosti než výsledky s použitím přibližně 100 vlíčovacích bodů. Přidáním dalších 5 vlíčovacích bodů již ke zvýšení přesnosti nedošlo.

Za ideální variantu lze považovat variantu s použitím 20 vlíčovacích bodů bez ohledu na typ vlíčovacích bodů, pouze za předpokladu, že nedojde ke kombinaci těchto typů vlíčovacích bodů.

## 6.2. ANALÝZA URČENÍ SOUŘADNIC V RŮZNÝCH VÝŠKOVÝCH ÚROVNÍCH

Druhá část testování spočívala v porovnání určení souřadnic bodů v různých výškových úrovních. Testování bylo realizováno pouze pro 1 variantu. K testování byla vybrána varianta, při které bylo vlícováno pouze na horizontální vlícovací body a zároveň poskytla nejlepší výsledky. Testování určení souřadnic v různých výškách bylo provedeno na variantě *Non-rigid, Výběr 20*.

Nejprve byly porovnány souřadnice kontrolních bodů stejně jako v přechodí části testování. Poté byly vertikální terče rozděleny do dvou skupin podle umístění ve dvou výškových úrovních - skupina označená jako *Horní terče* ve výšce přibližně 10 m nad zemí a skupina označená jako *Dolní terče* ve výšce 2 m nad zemí. Pro každou skupinu byly z odchylek vypočteny polohové chyby a ty byly posouzeny pomocí Fisherova testu. Z výsledků Fisherova testu vyplynulo, že skupiny terčů jsou stejné přesnosti. Lze tedy předpokládat, že výška umístění cíle nebo úhel snímání terče nehrají při sběru dat hlavní roli. Výsledky testování nalezneme v tab. 14.

Tab. 14 : Výsledky určení souřadnic v různých výškách

<i>Non-rigid, Vše</i>	Horní terče			Dolní terče		
	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$	$\Delta N$	$\Delta E$	$\Delta U$
Počet KB	27	27	27	27	27	27
$\varepsilon$ [m]	<b>0,014</b>	<b>0,013</b>	<b>0,007</b>	<b>0,009</b>	<b>0,010</b>	<b>0,007</b>
MAX [m]	0,035	0,032	0,014	0,013	0,016	0,009
MIN [m]	-0,021	-0,026	-0,010	-0,021	-0,020	-0,019

### 6.3. TESTOVÁNÍ PŘESNOSTI

Na základě dosažených odchylek byly odchylky varianty *Non-rigid*, Výběr 20 testovány pro 1. třídu přesnosti dle ČSN 01 3410. [14] Přesnost podrobných bodů byla testována na základě kritérií pro 1. třídu přesnosti, která je charakterizovaná středními souřadnicovými chybami

$$m_{XY} = 0,04 \text{ m} \quad m_H = 0,03 \text{ m} ,$$

a z nich byly vypočteny mezní souřadnicové chyby

$$u_{XY} = 2 \cdot m_{XY} = 0,08 \text{ m} \quad u_H = 2 \cdot m_H = 0,06 \text{ m} .$$

Ze souřadnicových rozdílů mezi původním a kontrolním zaměřením byly získány souřadnicové rozdíly  $\Delta N$ ,  $\Delta E$  a  $\Delta U$ .

#### Testování přesnosti souřadnic podrobných bodů N,E

Výběrová směrodatná souřadnicová odchylka byla vypočtena dle vzorců

$$s_X = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \sum_{j=1}^N \Delta N_{j=1}^N} \quad s_Y = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \sum_{j=1}^N \Delta E_{j=1}^N} \quad s_{XY} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (s_X^2 + s_Y^2)} ,$$

kde  $k=1$  vzhledem k významně vyšší přesnosti 1. měření. Výběrová směrodatná souřadnicová odchylka byla porovnána

$$s_{XY} \leq \omega_{2N} \cdot u_{XY} ,$$

kde  $\omega_{2N}$  se pro hladinu významnosti  $\alpha = 5\%$  a 184 testovaných bodů nahradí hodnotou 1,1.

#### Testování polohových odchylek

$$\Delta p = \sqrt{\Delta N^2 + \Delta E^2}$$

$$\Delta p \leq 1,7 \cdot u_{XY}$$

## Testování přesnosti výšek

Výběrová směrodatná výšková odchylka

$$s_H = \sqrt{\frac{1}{k \cdot N} \sum_{j=1}^N \Delta U_j^2}$$

se testuje, zda vyhovuje kritériu

$$s_H \leq \omega_N \cdot u_H,$$

kde  $\omega_N$  se pro hladinu významnosti  $\alpha = 5\%$  a 184 testovaných bodů nahradí hodnotou 1,1.

## Testování rozdílů výšek

$$\Delta U \leq 2u_H \cdot \sqrt{k},$$

kde  $k=1$  vzhledem k významně vyšší přesnosti 1. měření. Výsledky testování nalezneme v tab. 15.

Tab. 15: Testování přesnosti dle ČSN 01 3410

Testování 1. třída přesnosti dle ČSN 01 3410	
N = 184	
k = 1	
Polohové	
$u_{XY} =$	0,040 m
$s_{XY} =$	0,009 m
Podmínka: $s_{XY} \leq$	0,044 m
SPLNĚNO	ANO
Podmínka: $\Delta p \leq$	0,068 m
SPLNĚNO	100%
NESPLNĚNO	0%
Výškové	
$u_H =$	0,030 m
$s_H =$	0,006 m
Podmínka: $s_H \leq$	0,033 m
SPLNĚNO	ANO
Podmínka: $\Delta p \leq$	0,085 m
SPLNĚNO	100%
NESPLNĚNO	0%

## 7. IDEÁLNÍ PODOBA NÁJEZDU

Popis optimálního nájezdu vychází z různých variant urovnání mračna bodů. Obecně se považuje za nejlepší variantu co nejvyšší počet vlíčovacích bodů. V praxi se však používá většinou minimální počet vlíčovacích bodů. Cílem této části je popsání ideálního podoby vlíčovacích bodů a dalších náležitostí potřebných k úspěšnému zpracování mračna bodů.

Jako první je potřebné nastavit správné parametry při sběru dat. Pokud sbíráme vše kolem snímače, není třeba nijak prostor snímání vymezovat. Pokud by však došlo ke snímání pouze jednoho směru a ostatní by byly nadbytečné, je vhodné pro tento sběr dat nastavit úhel snímání. Při snímání do určité vzdálenosti je rovněž podstatné nastavit omezení vzdálenosti sběru dat. Dosah skeneru je ve většině případů řádově vyšší než požadovaná vzdálenosti skenování. Pokud by se toto nastavení neprovedlo, skener by snímal příliš vzdálené objekty a tím by se zpomalil proces snímání, respektive při pohybu vozidla by došlo ke sběru menšího množství skutečně potřebných dat. Z praktického hlediska je vhodné každou lokalitu snímat dvakrát. Při nájezdu dat v rámci této diplomové byl aplikován nájezd TAM a ZPĚT. Při označování bodů byl zaznamenán posun ve směru jízdy vozidla, proto se řešení protisměrného nájezdu jeví jako správné.

Dalším faktorem zpracování je použitý typ urovnání. Testované typy urovnání *Non-rigid, with translation* a *Rigid, with translation* jsou typy urovnání nabízené v prostředí programu RiPROCESS. V jiných programech se typy urovnání liší. Při zpracování v programu RiPROCESS dosahují varianty urovnání *Non-rigid, with translation* nižších odchylek, proto by při optimálním zpracování měla být použita varianta *Non-rigid, with translation*.

Z výsledků zobrazených v předchozích kapitolách bylo zjištěno, že není nejlepším řešením použití maximálního možného počtu vlíčovacích bodů, při výběru z bodů kalibračního pole. Při variantách *Non-rigid, Vše* (98 horizontálních vlíčovacích bodů) a *Vertikální, Vše* (95 vertikálních vlíčovacích bodů) nebyly dosaženy nejlepší výsledky v rámci analyzovaných variant.

Jako druhé řešení byly navrženy varianty s malým počtem vlíčovacích bodů. Varianty *Non-rigid, Výběr* a *Vertikální, Výběr* přinesly podobné výsledky jako varianty s velkým počtem vlíčovacích bodů, pouze došlo k mírnému poklesu přesnosti u souřadnice výšky.

Na základě těchto variant byly navrženy varianty s větším výběrem bodů. Jednalo se o varianty s použitím přibližně 20 vlíčovacích bodů. Byly použity varianty *Horizontální, Výběr 20*, dále *Vertikální, Výběr 20* a *Horizontální a vertikální výběr*. Varianty *Horizontální, Výběr 20* a *Vertikální, Výběr 20* dosáhly shodných hodnot. Naopak varianta *Horizontální a vertikální výběr* dosáhla výsledků s nižší přesností. Je tedy pravděpodobné, že více ovlivňuje přesnost rozdílný typ terčů než jejich samotný typ, tedy jestli se jedná o pouze horizontální nebo pouze vertikální terče nemá na přesnost vliv. Dále byla rozvíjena přesnost u variant s horizontálními terči, a to především kvůli potřebě správného určení nejlepší varianty pro analýzu určení souřadnic v různých výškových úrovních.

Výsledky z varianty *Horizontální, Výběr 20* byly dostatečně kvalitní, ale došlo ještě k poslednímu testování. Bylo testováno zda přidání dalších vlíčovacích bodů zvýší přesnost určení jednotlivých bodů. Jako poslední varianta byla navržen varianta *Horizontální, Výběr 25*. Z výsledků je patrné, že přidáním dalších vlíčovacích bodů nedošlo ke zvýšení přesnosti a proto lze považovat za dostačující již variantu *Horizontální, Výběr 20*.

U varianty *Horizontální, Výběr 20* bylo použito 20 vlíčovacích bodů. Délka nájezdu v jednom směru činila 800 m, celková délka nájezdu tedy činí 1600 m. Vzhledem k počtu použitých vlíčovacích bodů se jeví jako optimální řešení použití 1 vlíčovacího bodu na 80 m nájezdu. Je však nutno dodat, že byla dvakrát sbírána data na stejném území, pouze v jiném směru. Je tedy možné říct, že jako optimální řešení lze zvolit variantu dvojnásobného průjezdu lokalitou (ve směru TAM a ZPĚT), kde bude použit 1 vlíčovací bod na 40 m nájezdu. Při použití modulu RiPRECISION s volbou Automatic Features (urovnání vícenásobných nájezdů mezi sebou) mohla mít tato skutečnost pozitivní vliv na výsledek.

Závěry tohoto testování jsou vztaženy vzhledem k liniovému charakteru nájezdu k délce nájezdu, nikoliv k ploše areálu. Závěry s ohledem na rozlohu areálu nebyly prováděny především kvůli specifické podobě kalibračního pole. Lokalita Výzkumného centra AdMaS poskytovala možnost vytvoření husté sítě bodů na malé ploše areálu, což by při reálném použití této metody nebylo účelné.

## 8. ZPRACOVÁNÍ MRAČNA BODŮ

Do finální podoby bylo upravováno mračno s nejlepšími výsledky, tedy varianta Horizontální, Výběr 20. Mračno bodů bylo po urovnání exportováno ve formátu \*.las. Další úpravy probíhaly v programu Cloud Compare. Úprava mračna spočívala v odstranění nežádoucích bodů pomocí funkce *Noise filter* a ořezu mračna na oblast areálu. Náhled na výsledné mračno vidíme na obr. 37.



Obr. 37: Upravené mračno bodů

Je možné si všimnout, že mračno neobsahuje body na střechách budov, a proto v celkovém dojmu ztrácí na plasticitě. Další problematickou částí bylo snímání oken, která způsobila děravé stěny budov. V mračnu se vyskytla místa, která nebyla nasnímána. Jedná se například o část severovýchodní stěny budovy P4, kdy v jejím snímání brání terasa před budovou a paprsek skeneru na tato místa nedopadl. V mračnu se vyskytla 2 neočekávaná hluchá místa na budovách H a P4. Tato místa bez bodů se nachází na krátkých stěnách budov v místě, kde auto zatačí. Skenery jsou umístěny v zadní části vozidla a skenují prostor za vozidlem. Dříve než byla nasnímána celá stěna budovy, došlo k pootočení vozidla a některé části stěn tak zůstaly mimo dosah rozmetaného paprsku laserového skeneru.

Vzhledem k velikosti mračna bodů nebylo možné mračno k práci přiložit. V příloze č. 2.3. jsou k nahlédnutí snímky mračna získaného z varianty vyrovnaní *Horizontální, Výběr 20*.

## 9. ZÁVĚR

Práce se zabývala problematikou sběru a zpracování dat laserovým skenerem pomocí mobilního mapovacího systému Riegl VMX-450.

Část práce je zaměřena teoreticky, seznamuje nás s mobilním mapovacím systémem. V další části se práce pojednává o nově vytvořeném kalibračním poli, které vzniklo v areálu Výzkumného centra AdMaS (VUT v Brně) pro účely testování mobilního mapovacího systému. Dále se práce zabývala přímo sběrem a následným zpracováním dat v programech POSPac a RiPROCESS.

Stěžejní částí diplomové práce je testování přesnosti bodových mračen získaných laserovým skenováním mobilním mapovacím prostředkem. Pro testování byla mračna zpracována v různých variantách a byla posuzována na základě odchylek na bodech vytvořeného kalibračního pole. Práce se zaměřila i na porovnání určení souřadnic v různých výškových úrovních. Vzhledem k dosaženým odchylkám bylo mračno s nejlepšími výsledky testováno na 1. třídu přesnosti dle ČSN 01 3410. Testováním se ověřilo, že mračno splňuje kritéria pro 1. třídu přesnosti dle ČSN 01 3410.

Výsledkem práce je rovněž návrh optimálního řešení sběru dat a zpracování pro mobilní mapovací systém Riegl VMX-450, jako je způsob urovnání či počet vlíčovacích bodů.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Slovník VÚGTK. VÚGTK, v.v.i. [online]. Copyright © 2005 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova\\_verze=cz&tid=7526&l=mobilnimapovani](https://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=cz&tid=7526&l=mobilnimapovani)
- [2] FAST-S-19-5704 Geometrická přesnost mobilních mapovacích systémů. Brno. 2020. Specifický výzkum. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav geodézie.
- [3] Riegl. Compact Mobile Laser Scanning System Riegl VMX-450. [online]. Austria. 2015 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: [http://www.riegl.com/uploads/tx\\_pxpriegldownloads/DataSheet\\_VMX-450\\_2015-03-19.pdf](http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VMX-450_2015-03-19.pdf)
- [4] HROZNÁ, Kateřina. V centru AdMaS mají speciální vozidlo. Díky laseru dokáže rychle a efektivně zmapovat velké území. In: ZVUT.cz [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: [https://zvut.cz/tema/tema-f38144/v-centru-admas-maji-specialni-vozidlo-diky-laseru-dokaze-rychle-a-efektivne-zmapovat-velke-uzemi-d136405?aid\\_redir=1](https://zvut.cz/tema/tema-f38144/v-centru-admas-maji-specialni-vozidlo-diky-laseru-dokaze-rychle-a-efektivne-zmapovat-velke-uzemi-d136405?aid_redir=1)
- [5] PAVELKA, Karel. Mobilní laserové skenování. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05261-7
- [6] DOLEŽALOVÁ, Věra. Mobilní mapovací systém. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18123790-Mobilnimapovaci-system.html>
- [7] Compact Mobile Laser Scanning System: Riegl VMX-450, 2014. Riegl Laser Measurement Systems GmbH. Uživatelský manuál.
- [8] 2D Laser scanner Riegl VQ-450(-T), 2014. Riegl Laser Measurement Systems GmbH. Uživatelský manuál.
- [9] BELANIS, Pavel. Vytěžování snímků z panoramatické kamery mobilního mapování [online]. Brno, 2019 [cit. 2020-05-28]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/180060>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav geodézie. Vedoucí práce Tomáš Volařík.
- [10] KOZIOLOVÁ, Martina. VUT bude mít po CEITECu další výzkumné centrum. In: Deník.cz [online]. 12. 12. 2012 [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.denik.cz/jihomoravsky-kraj/vut-bude-mit-po-ceitecu-dalsi-vyzkumne-centrum-20121211-5pw6.html>

- [11] Trimble R8s GNSS Receiver. In: KOREC Group [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.korecgroup.com/product/trimble-r8s-gnss-receiver/>
- [12] Trimble S8 HP Robotic Total Station Kit w/ TSC3 Data Collector & Access Software [online]. In: . [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.4kequipment.com/trimble-s8-hp-robotic-total-station-kit-w- tsc3-data-collector-access-software/>
- [13] Rigorous Scan Data Adjustment for kinematic LIDAR systems. SPAR 3D [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://sparmsdc-static.s3.amazonaws.com/uploads/2014/08/Swatschina,%20Paul%20-%20Rigorous%20scan%20data%20adjustment%20for%20kinematic%20LIDAR%20systems.pdf>
- [14] ČSN 01 3410, Mapy velkých měřítek - Základní a účelové mapy, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 12 s. Třídící znak 01 3410

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

GNSS	Globální navigační satelitní systém
MMS	Mobilní mapovací systém
IMU	Inerciální měřicí jednotka
VUT	Vysoké učení technické
ETRS89	Evropský terestrický referenční systém 89
ETRF2000	Evropský terestrický referenční rámec v realizaci 2000
KB	Kontrolní bod

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1:	Mobilní mapovací systém Riegl VMX- 450
Obr. 2:	Část MMS Riegl VMX-450
Obr. 3:	Zobrazení vícenásobného odrazu
Obr. 4:	Poloha AdMaS
Obr. 5:	Areál AdMaS
Obr. 6:	Horizontální a vertikální terč
Obr. 7:	Trimble R8s
Obr.8:	Trimble S8 HP
Obr. 9:	Rozdělení bodů měřické sítě
Obr. 10:	Náhled ovládání MMS Riegl VMX-450
Obr. 11:	Trajektorie nájezdu
Obr. 12:	Struktura složek projektu
Obr.13:	RiPROCESS - Pohled 2D
Obr. 14:	RiPROCESS - Pohled 3D
Obr. 15:	Zobrazená vybrané části bodového mračna
Obr. 16:	Označené body terče
Obr. 17:	Přehled vlíčovacích bodů Non-rigid, Vše
Obr. 18:	Histogram Non-rigid, Vše
Obr. 19:	Přehled vlíčovacích bodů Non-rigid, Výběr 10
Obr. 20:	Histogram Non-rigid, Výběr 10
Obr. 21:	Přehled vlíčovacích bodů Rigid, Vše
Obr. 22:	Histogram Rigid, Vše
Obr. 23:	Přehled vlíčovacích bodů Rigid, Výběr 10
Obr. 24:	Histogram Rigid, Výběr 10
Obr. 25:	Přehled vlíčovacích bodů Vertikální, Vše
Obr. 26:	Histogram Vertikální, Vše
Obr. 27:	Přehled vlíčovacích bodů Vertikální, Výběr 9
Obr. 28:	Histogram Vertikální, Výběr 9
Obr. 29:	Přehled vlíčovacích bodů Horizontální a vertikální, Výběr
Obr. 30:	Histogram Horizontální a vertikální, Výběr
Obr. 31:	Přehled vlíčovacích bodů Horizontální, Výběr 20

- Obr. 32: Histogram Horizontální, Výběr 20  
 Obr. 33: Přehled vlíčovacích bodů Vertikální, Výběr 20  
 Obr. 34: Histogram Vertikální, Výběr 20  
 Obr. 35: Přehled vlíčovacích bodů Horizontální, Výběr 25  
 Obr. 36: Histogram Horizontální, Výběr 25  
 Obr. 37: Upravené mračno bodů

- Tab.1: Výsledky vyrovnaní sítě metodou nejmenších čtverců  
 Tab. 2: Parametry variant vyrovnaní  
 Tab. 3: Výsledky Non-rigid, Vše  
 Tab. 4: Výsledky Non-rigid, Výběr 10  
 Tab. 5: Výsledky Rigid, Vše  
 Tab. 6: Výsledky Rigid, Výběr 10  
 Tab. 7: Výsledky Vertikální, Vše  
 Tab. 8: Výsledky Vertikální, Výběr 9  
 Tab. 9: Výsledky Horizontální a vertikální, Výběr  
 Tab. 10: Výsledky Horizontální, Výběr 20  
 Tab. 11: Výsledky Vertikální, Výběr 20  
 Tab. 12: Výsledky Horizontální, Výběr 25  
 Tab. 13: Dosažené výsledky variant  
 Tab. 14: Výsledky určení souřadnic v různých výškách  
 Tab. 15: Testování přesnosti dle ČSN 01 3410

## SEZNAM PŘÍLOH

*Příloha č. 1* Schéma rozmístění horizontálních a vertikálních bodů kalibračního pole

*Příloha č. 2* CD

- ❖ *Příloha č. 2.1* Souřadnice bodů kalibračního pole v systémech NEU a ETRF2000
- ❖ *Příloha č. 2.2* Protokol vyrovnaní RiPRECISION, Varianta Automatic Features
- ❖ *Příloha č. 2.3* Snímky upraveného mračna bodů